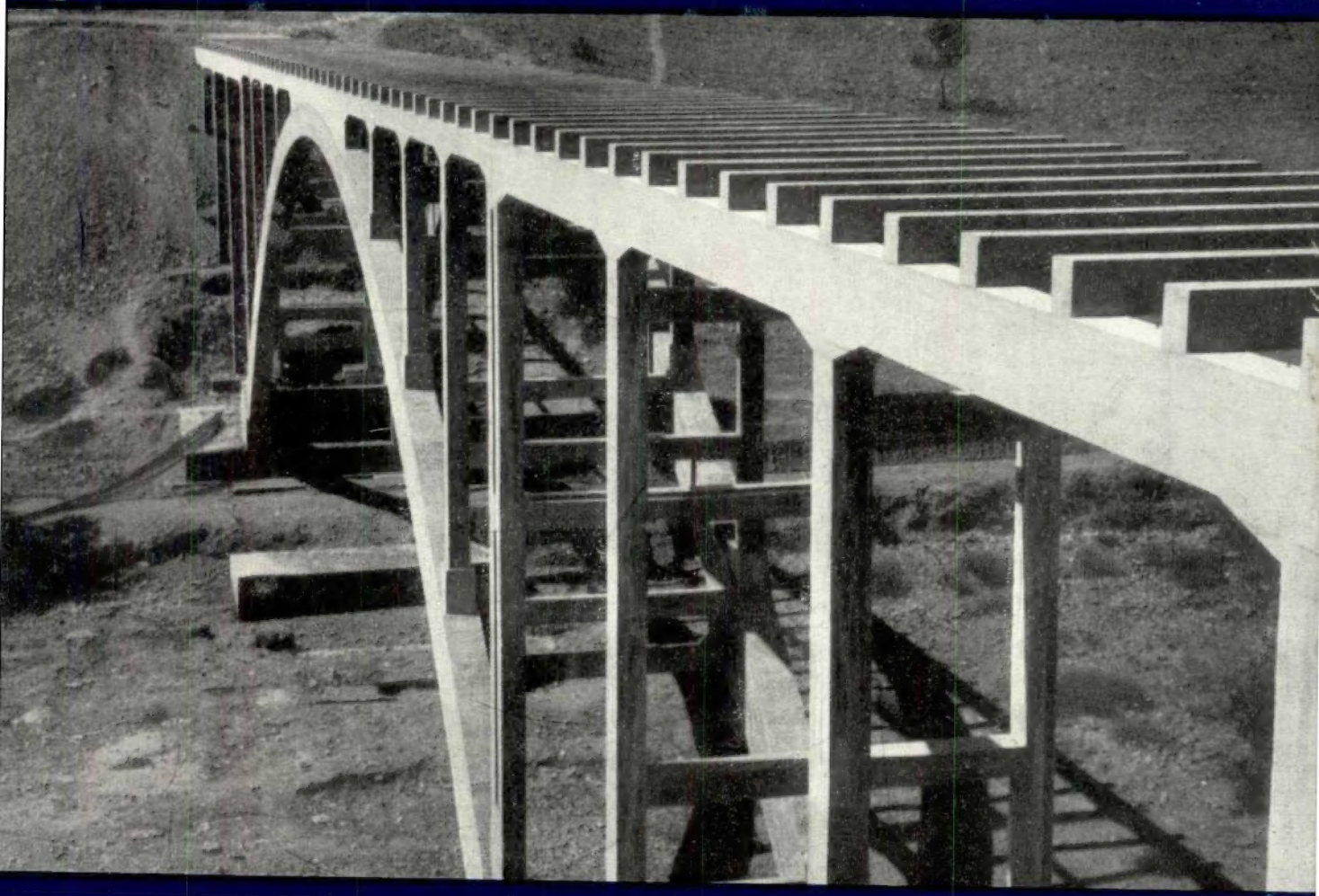
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.° 236-NOVEMBRO-1953

CIMENTO SECIL

O CIMENTO COM AS MAIORES RESISTÊNCIAS

Fábrica no Outão — Setúbal

Lisboa — Rua do Comércio, 56-3.º

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA — AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 63649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 — TEL 21277

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXVIII - N.º 236 Novembro de 1953

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-N. * TELEF. 7 0144 (Linha 50

DIRECTOR

JOSÉ MANUEL DA CRUZ MORAIS

ADMINISTRADOR

FERNANDO MARQUES DE OLIVEIRA

CORPO REDACTORIAL

ANTÓNIO SEVERINO PINTO

CARLOS M. NOGUEIRA MARTINS

JOSÉ M. FREITAS CRUZ

LUIZ F. LUCENA FERREIRA

*

NUMERO AVULSO 12$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhás	32$50	50$00	95$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	55$00	100$00

*

EDITOR E PROPRIETÁRIO

ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

*

COMPOSTO E IMPRESSO

NA

Tip. JORGE FERNANDES, L.DA

RUA CRUZ DOS POIAIS, 103

LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Estrutura da ponte canal do Resgalho (Obras de irrigação das Campinas de Silves — D. G. S. H.).

Págs

O equilíbrio científico-económico da engenharia moderna

Pelo Eng.º Quím.-Ind. Luís A. de Almeida Alves 63

Algumas notas sobre a hidrometalurgia do cobre

Pelo Eng.º Quím.-Ind. Vergílio Rui Teixeira Lopo 73

Problemas metalúrgicos numa turbina de gás

Pelo Eng.º Mec. José Henrique Arandes 85

Uma nova constante do solo e sua aplicação

Pelo Eng.º Manuel Pimentel Pereira dos Santos 89

Evolução populacional

Pelo Eng.º António M. Vasconcelos e Ernesto de Vasconcelos . . . 95

«Outro caso de ataque do Teredo» — Corrigenda 99

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e consumo de energia na rede eléctrica nacional** 101

Do Mundo Técnico 103

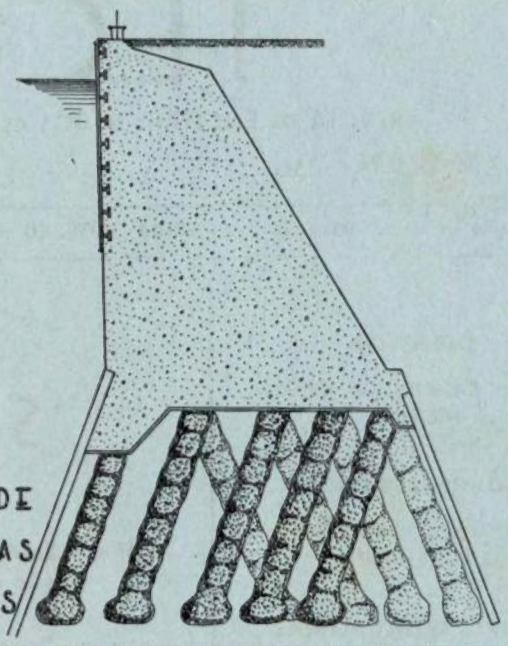
Biblioteca 116

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SAO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

PARA RESISTIR A ESFORÇOS
OBLÍQUOS E DINÂMICOS
EMPREGAM-SE ESTACAS

FRANKI

CUJA INCLINAÇÃO
RIGOROSAMENTE VERIFICADA,
PODE ATINGIR 25°.
INDISPENSÁVEIS NA EXECUÇÃO DAS
FUNDAÇÕES DE PONTES, DE MUROS DE
SUPORTE E DE MÁQUINAS SUBMETIDAS
A ESFORÇOS DINÂMICOS IMPORTANTES



FUNDAÇÕES FRANKI
SOCIEDADE CONSTRUTORA PORTUGUESA L.DA
PRAÇA DA ALEGRIA 20 R/C LISBOA

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, L.DA

Praça do Município, 13-3.° — LISBOA
Telefone 2 2344

PASSAGEM SUPERIOR EM CABO RUIVO
PARA A «SACOR»

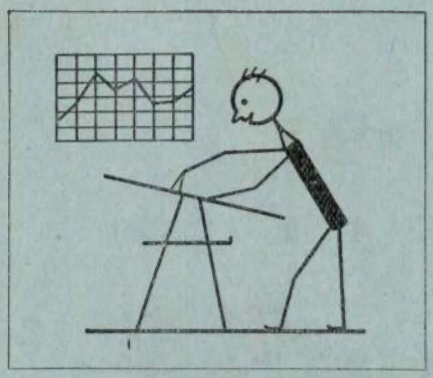
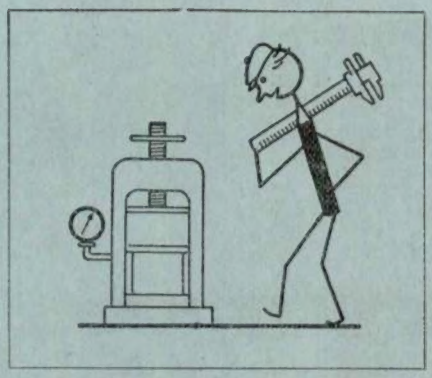
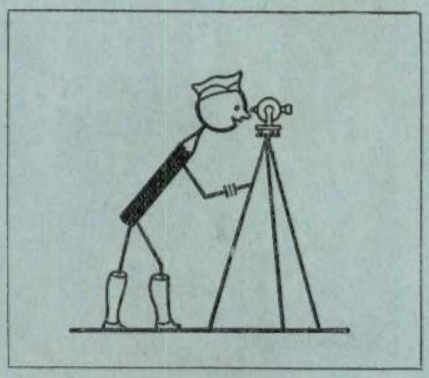
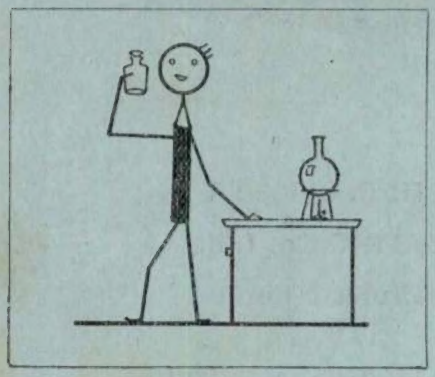
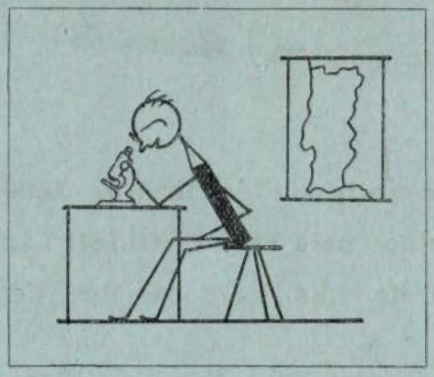
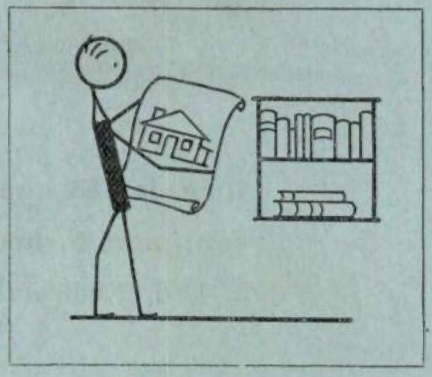
FUNDAÇÕES
BETÃO
ARMADO
OBRAS
PÚBLICAS

Pimentel & Casquilho, Lda.

LISBOA

Rua Eugénio dos Santos, 75
Rua Jardim do Regedor, 24-2.º

Telef. 2 4314 Teleg. TECNA

Fornecedores de:

REPARTIÇÕES DO ESTADO
OBRAS PÚBLICAS DE FOMENTO
EMPRESAS CONCESSIONÁRIAS
INSTITUTOS DE INVESTIGAÇÃO
ACTIVIDADES INDUSTRIAIS
ENGENHEIROS — ARQUITECTOS
ESTABELECIMENTOS DE ENSINO

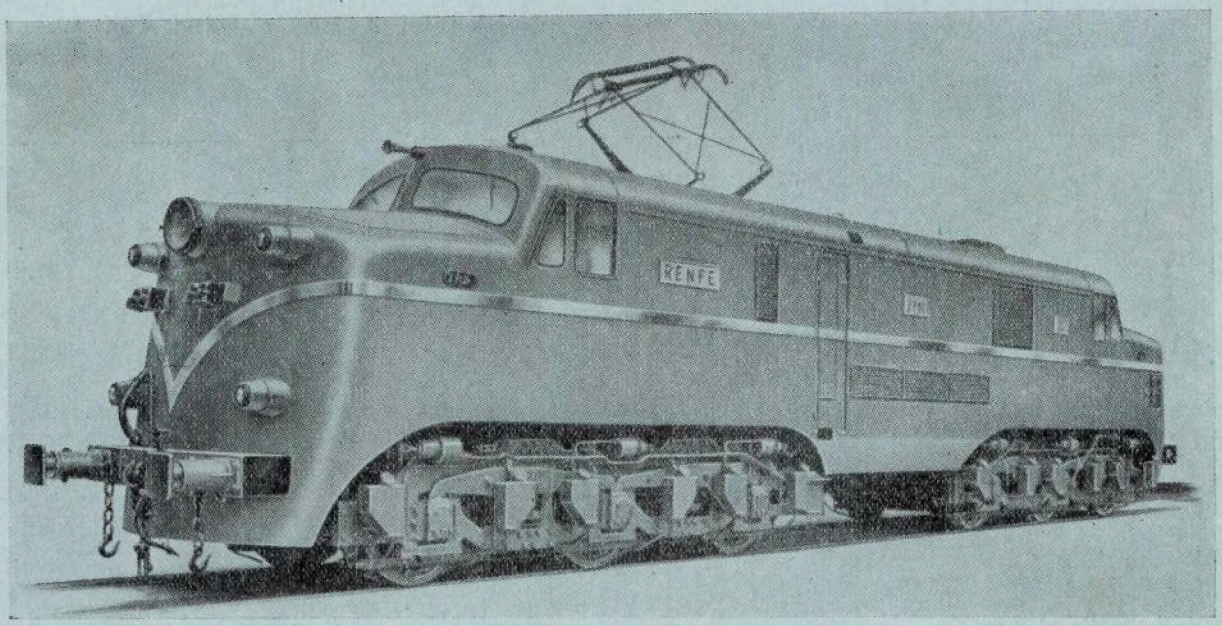
Nos ramos de:

INSTRUMENTOS DE PRECISÃO
MATERIAL TOPOGRÁFICO
MATERIAL PARA DESENHO
APARELHOS DE LABORATÓRIO
INSTRUMENTOS ÓPTICOS
FERRAMENTAS DE MEDIÇÃO
PAPELARIA E LIVRARIA TÉCNICAS

A casa onde todos os técnicos encontram o SEU ambiente

LOCOMOTIVAS ELÉCTRICAS

'ENGLISH ELECTRIC'



Uma das 63 Locomotivas Eléctricas de 3600 H. P. a 3000 V contínuos fornecidas pela THE ENGLISH ELECTRIC Co. Ltd. à Red Nacional de Los Ferrocarriles Españoles (Renfe)

THE ENGLISH ELECTRIC Co. LTD.

Queens House, Kingsway, W.C.2.

Fábricas em **Stafford, Preston, Rugby, Bradford e Liverpool**

Representantes:

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

Rua Cascais, 47 — LISBOA

Telefone 37083

FUNDIÇÃO E CONSTRUÇÃO MECÂNICAS

S. A. R. L.

OEIRAS

Uma grande organização na «**Indústria Metalúrgica e Metalomecânica nacional**»

Com **Fábrica** onde se produz:

Fundição de ferro, Ferros Ligas e Metais, Esmaltes — Esmaltagem

OFICINAS DE SERRALHARIA E FORJAS

Alguns artigos de série:

Banheiras de ferro fundido esmaltado — Todos os artigos sanitários para casa de banho e cozinha — Caldeiras e radiadores para aquecimento central — Salamandras — Fogões e fogareiros a gás — Fogões a lenha e carvão — Escadas e escadotes — Tábuas de engomar — Material para construção civil (aros para claraboias, sifões de pátio, ventiladores, portinholas, olhos de boi, autoclismos, etc.) — Bancos de jardim — Candeeiros para iluminação pública, etc.

PROJECTOS, ORÇAMENTOS E EXECUÇÃO DE INSTALAÇÕES E AQUECIMENTO CENTRAL

Vendas directas ao comércio da especialidade

Telef. Oeiras { P. P. C. 324 — 4 linhas / Administ. 156

Teleg. Fundição — OEIRAS

Correio: Apartado 711
LISBOA — CENTRAL

SECÇÃO DE AQUECIMENTO

Av. António Augusto de Aguiar, 7-A

Telefone 4 1110

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS

MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

MANILHAS PARA ESGOTOS

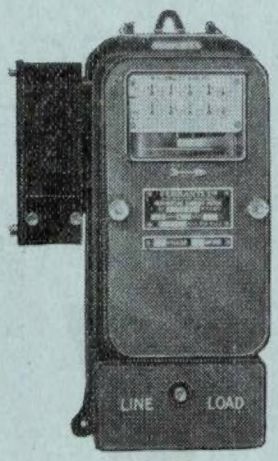
RUA D. ESTEFÂNIA, 42

TELEF. 47812-50129

LISBOA

PREFERIR FERRANTI É SABER ESCOLHER

→ Contador elétrico monofásico, Tipo FM, o único no mundo que está previsto para poder suportar uma sobrecarga contínua de 500 %



Contador trifásico de dupla tarifa ←

Grande sensibilidade

Voltímetro electrostático para alta tensão 10 e 30 KV

REPRESENTANTES

C. SANTOS LDA.

29, Avenida da Liberdade, 41

DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA

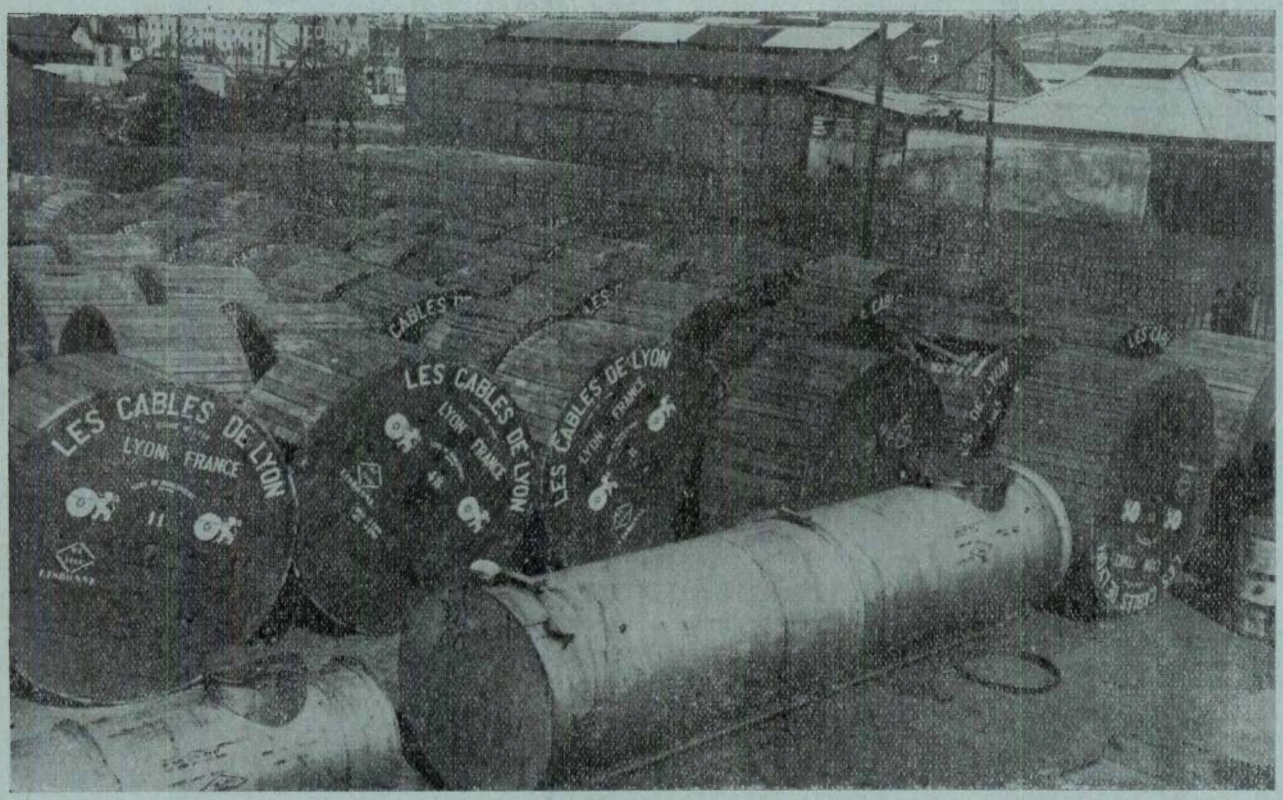
17, Travessa da Glória, 19-A — LISBOA

LES CABLES DE LYON

DA

«COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ»—PARIS

Cabos armados e telefónicos



COMPANHIAS REUNIDAS GÁS E ELECTRICIDADE
25 km. de cabo armado 35 KV.
Desembarque de bobines no porto de Lisboa

DELEGADOS:

AGÊNCIA GERAL DE MATERIAL ELÉCTRICO, L.DA

RUA DOS INDUSTRIAIS, 4-1.º — TELEFONES: 60692-66082 — LISBOA

AZEVEDO & PESSI, L.DA

RUA NOVA DO ALMADA, 46

LISBOA — PORTUGAL

TELEGRAMAS: PESSIL-LISBOA — TELEFONES: 29879-24495-20354

AZEVEDO & PESSI, L.DA

OFERECEM **EQUIPAMENTO PARA INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS E APARELHAGEM ELÉCTRICA DAS SUAS REPRESENTADAS**

Emile Haefely & Cie., S. A. — Basileia	**Transformadores, Condensadores**
Sprecher & Schuh, S. A. — Aarau	**Aparelhagem eléctrica**
Baume & Marpent, S. A. — Haine-St-Pierre	**Material rolante, Gasómetros**
Heinrich Flottmann, G. m. b. H. — Herne	**Martelos pneumáticos, Compressores**
Salzgitter Maschinen A.-G. — Salzgitter	**Pás mecânicas, Rastilhos perfuradores**
Badische Maschinenfabrik A.-G. — Karlsruhe	**Equipamento para fundições**
Berkefeld Filter Ges. m. b. H. — Celle	**Filtros, Instalações de correcção**
Luke & Spencer, Ltd. — Altrincham	**Amoladoras, Mós**
Eschwerke K.-G. — Duisburgo	**Britadeiras, Trituradoras**
Knapsack-Griesheim A.-G. — Frankfort	**Equipamento de soldadura**
F. Kueppersbusch & Soehne A.-G. — Gelsenkirchen	**Cozinhas, Fogões**
Mench S. A. — Bruxelas	**Equipamento para lavandarias**
Bergedorfer Eisenwerk A.-G. — Hamburgo	**Instalações frigoríficas, Centrais leiteiras**
Seitzwerke A.-G. — Kreuznach	**Máquinas para engarrafamento**
Intexico — Hamburgo	**Metais, Máquinas-ferramentas**
Anton Kaeser — Hamburgo	**Instalações de condicionamento de ar**

FÁBRICA DE PORCELANA DA VISTA ALEGRE, L.DA

Fundada em 1824

POR

José Ferreira Pinto Basto

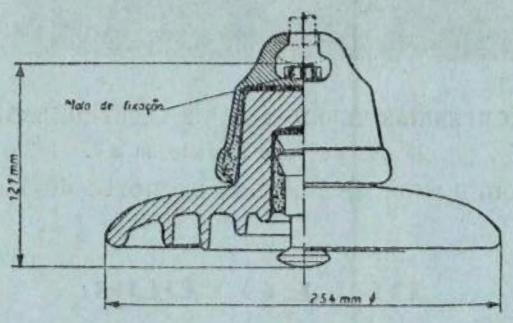
ISOLADORES DE CADEIA

Para suspensão

Tipo ACS 25

Este isolador é igual ao tipo I. B. S. 99 da firma inglesa Taylor Tunnicliff & Co., Ltd., por acordo com a qual o fabricamos

Peso aproximado: 4,3 kg cada elemento



Materiais

Porcelana vidrada em castanho.
Campânulas de ferro fundido maleável, galvanizadas por imersão a quente.
Hastes de aço macio galvanizadas por imersão a quente.
Molas de fixação de bronze fosforoso.

Lisboa — Sede: Largo da Biblioteca, 17
Depósitos: Lisboa — Largo do Chiado, 18

Fábrica em Ílhavo — Aveiro
Rua Cândido Reis, 118 — Porto

EIS 4 PONTOS QUE TORNAM A

SCHIELD BANTAM DE 3/8

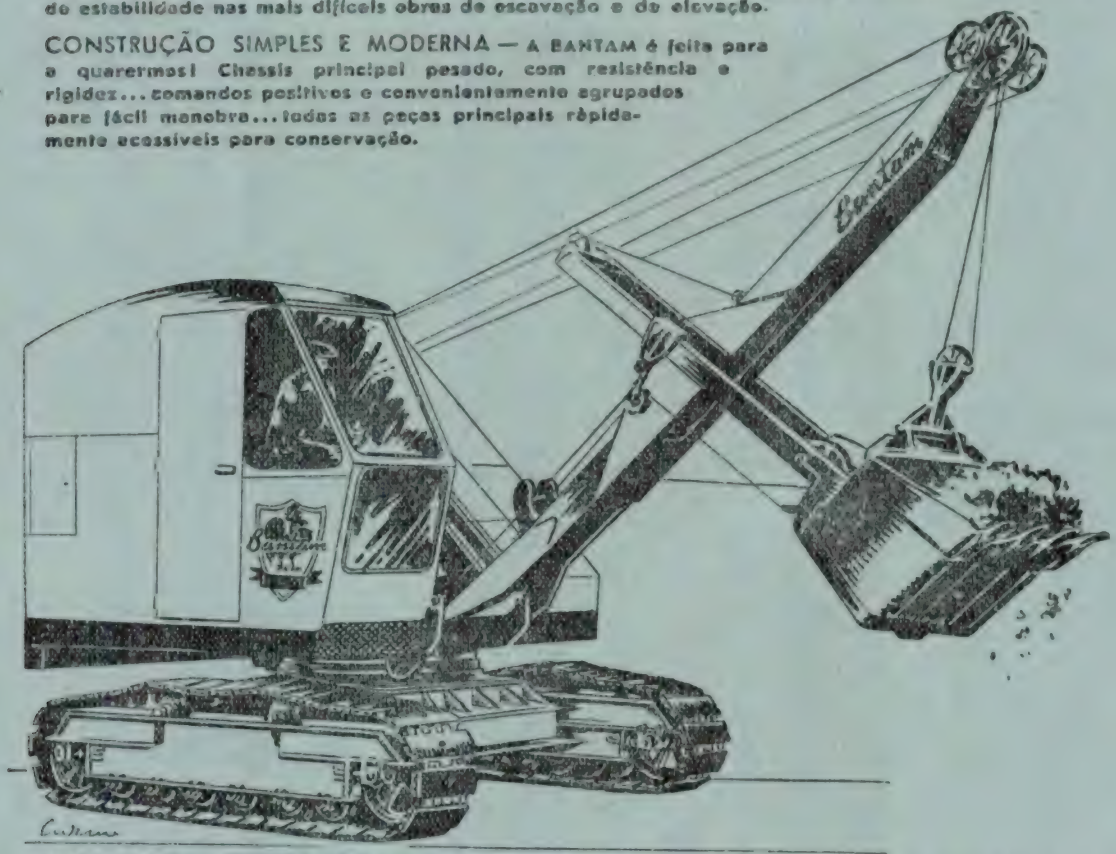
NA MÁQUINA MAIS DISPUTADA

MARCHA INDEPENDENTE — Uma característica "standard" da SCHIELD BANTAM que permite ao operador mover o equipamento frontal durante a marcha... ideal para escavação... enchimento de valas... manuseamento de materiais.

BARATA... GRANDE ESCALA DE TRABALHOS — A escavadora de mais baixo custo na indústria que vos dá ao mesmo tempo uma execução que não foi ainda atingida no seu campo por qualquer outra máquina. Novo acessórios de fácil montagem equipam a BANTAM para executar centenas de obras com maior rapidez e por menor custo.

BASE DE LAGARTAS DEVIDAMENTE EQUILIBRADA — Comprida e larga - quase quadrada - tem ainda um baixo centro de gravidade e uma folga sobre o chão adequada, permitindo-lhe o máximo de estabilidade nas mais difíceis obras de escavação e de elevação.

CONSTRUÇÃO SIMPLES E MODERNA — A BANTAM é feita para a querermos! Chassis principal pesado, com resistência e rigidez... comandos positivos e convenientemente agrupados para fácil manobra... todas as peças principais ràpidamente acessíveis para conservação.



GUINDASTE • VALADORA • PÁ DE ARRASTO • COLHER DE MANDÍBULAS
ESCAVADORA • MAGNETO • BATE ESTACAS • ENCHEDOR DE VALAS

DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS PARA PORTUGAL E ULTRAMAR

BLACKWOOD HODGE

Av. Almirante Reis, 247-C — Telef. 75984

LUANDA — LISBOA — L. MARQUES

COMPANHIAS ASSOCIADAS FILIAIS OFICINAS E AGÊNCIAS EM TODO O MUNDO

COMPANHIA PORTUGUESA DE FORNOS ELÉCTRICOS

S. A. R. L.

FÁBRICA DE CARBONETO DE CÁLCIO E FERRO-LIGAS

Carboneto de Cálcio, Ferro, Ferro-Silício, Ferro-Manganês e Estanho

FÁBRICA DE CIANAMIDA CÁLCICA

Instalações Fabris
Canas de Senhorim
Telef. 6 7222

Sede — Lisboa
Largo do Directório, 4, 2.º
Telef. 2 5343

LEACOCK (LISBOA), L.DA

AV. 24 DE JULHO, 16 — LISBOA

R. JOSÉ FALCÃO, 185 — PORTO

SECÇÃO DE MÁQUINAS E ELECTRICIDADE

REPRESENTANTES DE:

THE RAWLPLUG COMPANY, LTD.
Material de fixação para construção civil e mecânica.

HOOVER, LTD.
Motores eléctricos desde 1/8 até 3/4 H. P., Monofásicos e Trifásicos.

VERITYS, LTD.
Motores eléctricos desde 1 até 125 H. P.

J. A. CRABTREE & CO. LTD.
Material para instalações de luz: interruptores, fichas, tomadas, etc.
Material para instalações de força: arrancadores, disjuntores, caixas, etc.

TRANSFORMERS & WELDERS, LTD.
Transformadores de todos os tipos até à potência de 3000 K. V. A. e até à tensão de 33000 Volts.

BARTON CONDUITS, LTD.
Tubo de aço para instalações eléctricas.

EDWARD MAC BEAN & CO. LTD.
Tubo, fita e pano de tela envernizada.

MEASURING INSTRUMENTS (PULLIN), LTD.
Amperímetros, Voltímetros, Frequencímetros, Wattímetros de todos os tipos e escalas.

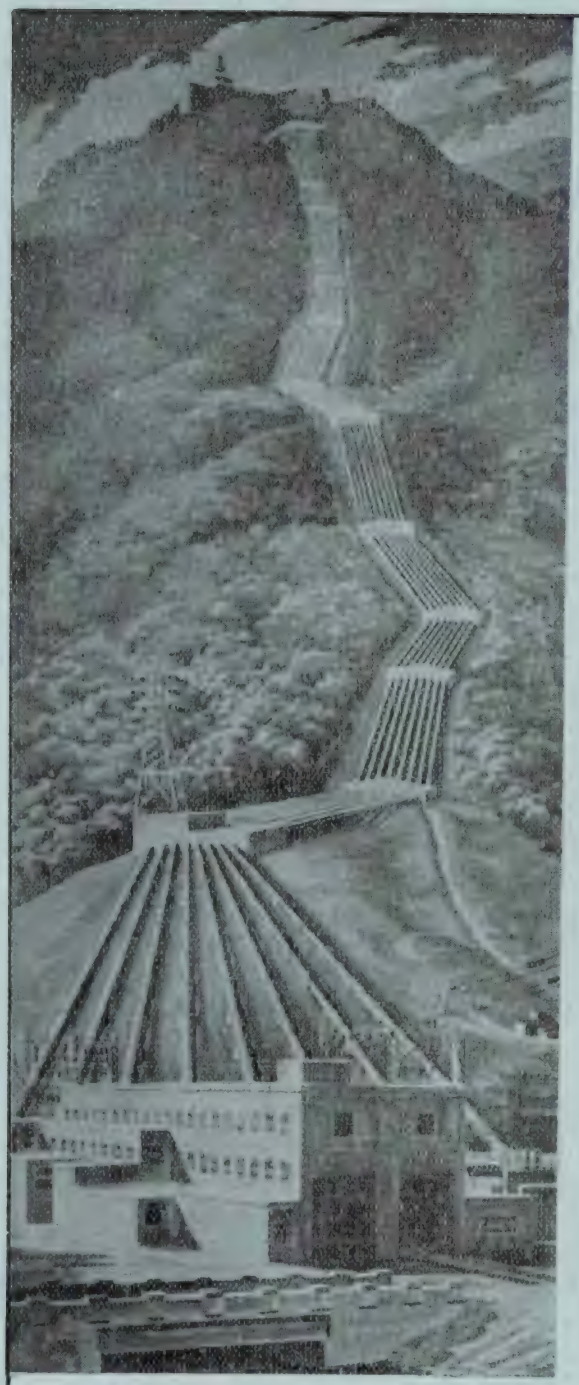
F. PERKINS, LTD.
Motores Diesel marítimos.

THE AUTOMATIC COIL WINDER AND ELECTRICAL EQUIPMENT CO, LTD.
Osciladores, capacímetros, texts universais, texts electrónicos, analisadores de válvulas, luxímetros, expositores para fotografias.
Máquinas para bobinar e enfitar.

GEORGE KENT
Contadores de água, de vapor e de óleo.
Tubos Venturi
Determinadores e controladores do pH, do CO_2 e pirómetros pelo processo potenciométrico.
Combustiómetros, manómetros, registadores de distâncias, medidores-registadores de caudais, medidores de orifícios em condutas para gases.

THORN ELECTRICAL INDUSTRIES, LTD.
Luz fluorescente e rádios.

ELECTRIC PANELS, LTD.
Aquecimento eléctrico.



A MAIOR
INSTALAÇÃO DE FORÇA
DA AMÉRICA DO SUL

A famosa central geradora da Serra do Mar, próximo da cidade de S. Paulo, é um exemplo único do génio criador do homem.

Esta grande instalação hidro-eléctrica utiliza a água dos rios que correm nos planaltos da serra, água que por meio de um engenhoso processo de canais, barragens e estações de bombagem chega à borda do planalto, daí sendo levada por condutas representadas na gravura, até às gigantescas turbinas que faz mover.

São oito unidades geradoras com uma capacidade total de 174.000 Kw todas protegidas pelo famoso lubrificante Gargoyle, para turbinas, e pela orientação técnica da Socony-Vacuum.

Por que não utiliza no seu fabrico este inultrapassável processo de protecção?

Gargoyle
Lubrificantes
SOCONY-VACUUM

GARGOYLE
SOCONY-VACUUM PORTUGUESA

2503

TÉCNICA

DIRECTOR — JOSÉ M. CRUZ MORAIS ADMINISTRADOR — FERNANDO MARQUES DE OLIVEIRA

CORPO REDACTORIAL — ANTÓNIO SEVERINO PINTO, CARLOS M. NOGUEIRA MARTINS, JOSÉ M. FREITAS CRUZ E LUIZ F. LUCENA FERREIRA

Ano XXVIII - N.º 236 Novembro de 1953

C. D. 500.15:62.001.7

O EQUILÍBRIO CIENTÍFICO-ECONÓMICO DA ENGENHARIA MODERNA

PELO ENG.º-QUÍM (I. S. T.) LUÍS DE ALMEIDA ALVES

Prof. do I. S. T.

Oração de sapiência proferida na Abertura Solene do ano lectivo de 1953-54 na Universidade Técnica de Lisboa, realizada no I. S. T. em 20 de Outubro de 1953.

Durante o ano de 1952, realizaram-se várias cerimónias destinadas a evocar o 5.º centenário do nascimento de Leonardo da Vinci. E foi naturalmente em Itália que se lhes deu um relevo maior, tendo-se procurado fazer uma síntese perfeita do valor da sua obra, como artista, como estudioso e como criador.

Não se esqueceu por isso, a sua passagem de certo modo notável, na pintura quinhentista; nem a sua contribuição nìtidamente positiva no campo da Ciência, traduzida em particular, na tendência a recorrer por sistema, a processos de racionalização quantitativa e de observação experimental; nem se esqueceu mesmo a variedade dos seus projectos de carácter mecânico, aplicados principalmente e já com certo interesse prático, em pormenores de funcionamento de teares e de construção de certos dispositivos em barcos de guerra e fortificações. E conjugando criteriosamente estas diferentes facetas do espírito de Leonardo, a Itália conseguiu apresentá-lo como o protótipo do engenheiro do nosso século para o qual a Ciência — e em certa escala, a Arte — não podem deixar de andar associadas ao fatalismo económico das suas realizações.

Esta ideia foi brilhantemente concretizada numa Exposição que se levou a efeito no «Museu Nacional da Ciência e da Técnica» em Milão, e que permanece aberta até ao fim do ano corrente. Nesta exposição, apresentada com largueza e disposta com sobriedade, transformaram-se os desenhos primitivos de Leonardo em desenhos técnicos de traçado moderno e construiram-se modelos em miniatura dos projectos apresentados, constituindo-se assim de certa maneira, um traço de união natural entre duas épocas nìtidamente diferentes na potencialidade dos seus meios de acção.

E quando se fala de potencialidade dos meios de acção quere-se significar explìcitamente que não foi o conteúdo intrínseco do espírito humano que evoluiu desde então até agora, mas apenas a posição dos marcos de referência do pensamento, em mutação constante através do curso da História. É realmente pouco vulgar a lucidez com que Leo-

nardo, na ausência de qualquer noção de Termodinâmica — nem sequer incipiente nessa época — afirma categòricamente a impossibilidade do movimento perpétuo, considerando-o ao mesmo nível das utopias clássicas dos alquimistas medievais.

Talvez não fosse inteiramente por acaso que o texto vigoroso da negação do movimento perpétuo, estivesse colocado na mesma sala da Exposição em que se exibia a formulação original das leis sobre o atrito; mas de qualquer modo, essa coexistência não deixa de se revestir de um simbolismo curioso. Em primeiro lugar, porque faz ressaltar o que faltava ainda na Ciência do século XV, para considerar num todo harmónico, o atrito e o movimento perpétuo de primeira espécie; em segundo lugar, porque traduz a necessidade interna do pensamento de Leonardo de submeter à mesma disciplina lógica toda a ciência dos homens, desde os princípios filosóficos em que se estrutura, até aos fenómenos directos sobre os quais se induzem as leis experimentais.

Esta mesma disciplina de pensamento se revela numa transcrição que encima a sala de entrada da galeria principal e que se amolda com precisão aos problemas da actualidade. Essa transcrição diz textualmente:

> «Aqueles que se apaixonam pela prática sem a ciência, são como o navegante que entra num navio sem leme ou sem bússola, e que nunca tem a certeza para onde vai».

Em todo o caso, Leonardo não foi um realizador consumado apesar de ter qualidades apreciáveis de persistência e de método. Como disse alguém a seu respeito, «chegou ao fim da vida desiludido e cansado e isso é talvez mais um exemplo da eterna tragédia do materialista na vida e do realista na arte».

Mas a apreciação não deve ser inteiramente justa. Leonardo chegou ao fim da vida desiludido e cansado porque os seus projectos de hidráulica nunca saíram do papel, porque as suas armas aperfeiçoadas não chegaram a ter aceitação, porque os seus anos de meditação sobre o vôo das aves não lhe chegaram para dominar o problema no seu conjunto. Mas chegou desiludido e cansado em parte também, porque se convenceu de que os seus insucessos tinham sido o resultado da falta de boa vontade dos homens, esquecendo-se das condições particularmente favoráveis em que a sua vida decorreu. E na realidade, apesar dos seus queixumes contra os Medicis, principalmente na fase final da sua vida, foram os grandes senhores dos Estados italianos que subsidiaram, por assim dizer — um pouco ingènuamente talvez — os seus trabalhos de investigação científica, afastando-se da tradição corrente dos Mecenas do Renascimento, mais inclinados geralmente a proteger os progressos da arte, da literatura e da filosofia.

O que faltou a Leonardo não foi o espírito de iniciativa, não foi a capacidade de trabalho, nem foi mesmo em muitos casos, o apoio financeiro. O que lhe faltou — e era absolutamente impossível que ele o tivesse sentido — foi uma estrutura científica adequada à grandeza das suas concepções. E a Ciência da época tinha ainda dois obstáculos sérios a transpor.

Em primeiro lugar, o abandono de um elevado número de conceitos ingénuos estabelecidos em grande parte sobre aparências e sobre analogias. Não se pode esquecer que o próprio Leonardo, apesar da sua intuição excepcional da verdade das causas naturais, ainda acreditava na interpretação do fenómeno das marés, baseada na respiração do globo terrestre e ainda introduzia na definição de força um parentesco bizarro, considerando-a como «filha do movimento e irmã do ímpeto e da percussão».

Em segundo lugar — e este ponto é bastante mais importante — a Ciência do século XV não tinha ainda a noção de que a interpretação quantitativa dos fenómenos reais teria de ser precedida da estruturação teórica dos fenómenos ideais. Só assim seria possível estabelecer o elo de ligação indispensável entre a especulação abstrata dos fundamentos e a realidade concreta das aplicações.

E foi só no século XVII que se operou a transformação da mentalidade científica que tornou realizável a remoção progressiva desses obstáculos seculares. Sob alguns aspectos, talvez não seja inexacto afirmar que a Filosofia, tal como foi interpretada desde a escola de Atenas até ao século XVI, constituiu de certo modo, uma resistência inconsciente ao desenvolvimento da Ciência em si. E é perfeitamente lógico que tivesse sido assim porque, na sua preocupação de tornar o Universo totalmente inteligível, a Filosofia não poderia deixar de induzir a Ciência a procurar a verdade absoluta sem passar pelos estados intermediários das criações mais simples do espírito humano. E estas só surgiram com a força criadora da Matemática moderna, admiràvelmente sintetizada por Hertz — que não foi um matemático mas que descobriu a telegrafia sem fios — nestas palavras incisivas: «As fórmulas matemáticas têm uma existência independente e uma inteligência própria; são mais profundas do que nós e que os seus inventores e são inesgotáveis no seu conteúdo de aplicação».

A Matemática do século XVII constituiu um ponto notável na evolução de todo o progresso da Ciência, porque colocou à disposição das faculdades do pensamento três instrumentos de cálculo que viriam a ser os grandes pilares da estrutura científica das gerações futuras: O cálculo infinitesimal, a análise combinatória e o número imaginário. O cálculo infinitesimal, que conduziu à visão integral dos problemas através de propriedades locais, dando assim às equações diferenciais uma posição privilegiada no domínio ilimitado das aplicações concretas; a análise combinatória que representou o ponto de partida do cálculo das probabilidades e da sua extensão ulterior aos fenómenos estatísticos e à Mecânica ondulatória; o número imaginário que foi o primeiro passo para a introdução de operadores simbólicos que viriam a ter a sua doutrinação sistemática nos domínios do cálculo operacional e das álgebras abstractas.

Não se pode inferir contudo, que a simultaneidade destas criações tivesse sido intencional nem mesmo que qualquer delas fosse originada em objectivos definidos a atingir. Elas surgiram simplesmente como resultado dos esforços repetidos para interpretar os grandes problemas da «filosofia da matemática» em desafio contínuo à sagacidade e imaginação dos pensadores e que foram respectivamente o *contínuo,* o *discreto e a raiz de — 1.*

Não se poderia esperar portanto, o seu reflexo imediato nas ciências de aplicação, tanto mais que o século XVII nos deu fundamentalmente noções em bruto sobre as quais se impunha ainda um longo e paciente trabalho de acabamento. Coube ao século XVIII, o começo da elaboração da matemática do século anterior num sentido prático, convidando insensìvelmente as ciências físicas a trilharem um caminho mais seguro e de horizontes mais vastos. Mas mesmo assim, a Física do século XVIII só nos deixou práticamente um resultado notável de estruturação matemática, que foi a equação de Bernoulli no domínio de hidrodinâmica E este resultado apesar de imediatamente extensivo aos fluídos compressíveis por intermédio da lei dos gases perfeitos — já então sòlidamente firmada — talvez se possa considerar relativamente modesto em relação às brilhantes conquistas da Técnica desse século: A máquina a vapor, o alto-forno a coque, o aço pudelado, o ácido sulfúrico de câmaras e o processo Leblanc.

Todas estas realizações foram levadas a efeito por uma acção persistente de repetição, de tentativas e de energia precedendo de quase um século a Termodinâmica e a Química teórica, sobre as quais deveriam ter sido lògicamente alicerçadas. É por isso absolutamente compreensível que os técnicos de então não acreditassem nas vantagens dos trabalhos dos teóricos, perdidos aparentemente em especulações de reduzido interesse no momento e de discutível interesse no futuro.

Mas acontece ainda que a primeira fase da estruturação teórica da Termodinâmica e da Química foi formalmente muito simples, ao passo que a Matemática aplicada contemporânea se expandia no sentido dos problemas relativamente complexos dos métodos esta-

tísticos, das funções analíticas, das cordas vibrantes e da transmissão de calor. E a Técnica que tinha absorvido com avidez as primeiras leis simples que eram na prática, de utilidade quase ilimitada, mais uma vez olhou sem grande interesse para os trabalhos teóricos de aspecto inacessível e sem finalidade definida, não prevendo com certeza que eles viriam a constituir os pontos de apoio do seu progresso futuro. A barreira existente entre a Ciência e a Técnica continuou portanto a existir; simplesmente os termos do problema já se tinham invertido — e já eram algumas leis rigorosamente estabelecidas que impunham a sua disciplina nos caminhos mais ou menos desordenados das realizações experimentais.

Foi a Física porém, que deu o passo decisivo para apreender a «verdade física» das criações matemáticas sem o recurso prévio ao conhecimento sensível, demonstrando por assim dizer, a consistência global da evolução da Ciência moderna e a unidade lógica do caminho seguido na fixação das directrizes do pensamento. E não é preciso sair dos exemplos clássicos para dar uma ideia real da capacidade de antecipação que se conseguiu atingir: A previsão da T. S. F. por Maxwell, de acordo com a teoria electro-magnética da luz, a predição do desvio dos raios luminosos num campo de gravitação, pela teoria da relatividade geral de Einstein e a postulação do neutrino pela teoria de Fermi e Pauli, no âmbito dos recentes conceitos sobre a estrutura nuclear.

Em todo o caso, não se pode perder de vista que as ciências físicas de uma maneira geral, só chegam a interpretar a realidade por aproximações sucessivas, visto que os fenómenos sobre os quais incidem são por assim dizer «estilizados», com restrições «à priori» que os fazem afastar inevitàvelmente das condições exactas em que se produzem. E é verdade também, que à medida que as leis mais simples da Física se vão aproximando da essência dos fenómenos reais, mais difícil se vai tornando a sua tradução em esquemas matemáticos rigorosos os quais por seu turno, vão sendo em regra de complexidade também maior, quer nos conceitos de base quer nos métodos operatórios de resolução.

Mas não se pode pressupor que a Técnica — particularmeute interessada na interpretação dos fenómenos reais — tenha de ficar pacientemente à espera das estruturas teóricas perfeitas, o que aliás seria destituído de significado, dado o caracter de limite inatingível que a realidade representa em relação às sucessivas aproximações que se vão fazendo. No entanto é axiomático que quanto mais perfeita for essa estruturação teórica, maior é o grau de confiança com que a Técnica pode abordar os problemas e menores serão portanto, os coeficientes de segurança que terá de introduzir. E os coeficientes de segurança reflectem-se poderosamente na economia das soluções ou mesmo nas possibilidades intrínsecas de resolução.

Isto não significa evidentemente que não sejam muitas vezes os resultados das realizações técnicas que impulsionam o progresso científico num sentido de maior aproximação das soluções exactas; mas quere dizer apenas que em cada instante, as condições de tratamento dos problemas técnicos dependem fundamentalmente do património teórico — e em parte prático, se quisermos — que tiver sido constituído até então.

A evolução da Resistência de Materiais é bastante típica nesse aspecto. Dentro do simplismo que tem sido mais ou menos aceite, de considerar a Engenharia como Física aplicada — o que como síntese, não deixa de estar certo — a Resistência de Materiais deveria ser encarada como Elasticidade Aplicada. Ora, a Teoria da Elasticidade é um produto dos últimos cento e trinta anos, de estudo até certo ponto análogo ao da Mecânica dos Fluídos e portanto sem existência possível antes do tratamento genérico dos problemas dos campos vectoriais; e estes, embora intrinsecamente simples, não dispensaram um trabalho intenso de análise de propriedades e de introdução de operadores. Mas a Resistência de Materiais vinha já de Galileu, de Hooke e de Mariotte e o estudo das curvas elásticas já tinha atraído os matemáticos do século XVIII, com relevo particular para Euler que nelas tinha encontrado mais um campo de aplicação da técnica atraente do cálculo das variações. Simplesmente não se tinha passado ainda da fase elementar

para a qual chegavam as equações da estática e a hipótese fundamental da relação existente entre a curvatura de uma viga elástica e o momento flector em cada ponto.

A consideração ulterior dos sistemas hiperstáticos, da fadiga das peças em movimento e do equilíbrio elástico das estruturas metálicas — em grande parte forçada pelo desenvolvimento dos caminhos de ferro — mostrou a necessidade crescente de dominar os pormenores do comportamento elástico dos materiais de construção. E esta necessidade intensificou-se naturalmente com os progressos da construção naval e com os cálculos de estruturas de aviões.

A teoria da Elasticidade constituiu um dos primeiros casos de cooperação científico — técnica que já no século passado punha frente a frente, espíritos teóricos como Cauchy, e engenheiros de excepcional formação matemática como Clapeyron e Lamé. E a sua evolução actual conserva ainda tradicionalmente esse carácter, mantendo quase no mesmo nível o interesse pelas vantagens que lhe podem advir, quer elas resultem por exemplo, dos progressos do Cálculo Tensorial, quer se filiem nos resultados directos dos laboratórios de ensaio.

Mas o problema da Resistência de Materiais não anda ligado apenas a considerações de elasticidade que pressupõem em geral, meios contínuos e de propriedades constantes — à parte é claro, as alterações resultantes de esforços repetidos ou de modificações estruturais devidas a causas mecânicas. Anda ligado também aos fenómenos provenientes das variações térmicas e às consequentes alterações da estrutura que se repercutem profundamente nas condições de resistência.

Este problema que só se revestiu de importância de há menos de um século para cá — com o aparecimento dos motores de explosão e de combustão interna e mais tarde das turbinas de vapor — obrigou a entrar decididamente no conhecimento mais exacto da estrutura cristalina dos metais e das transformações que nela se dão. A tarefa foi facilitada pelo trabalho genial da classificação periódica de Mendeleef e pela maturidade da Termodinâmica das transformações consubstanciada sob a forma simples da lei das fases que se generalizou ràpidamente ao estudo da evolução dos sistemas e à construção dos diagramas de coexistência. Foi fácil à Metalurgia, já possuidora desde 1880 dum apuro técnico notável no fabrico do aço, integrar-se numa orientação rigorosamente científica, na previsão da estrutura física e das propriedades mecânicas das ligas metálicas, em função da sua composição e dos tratamentos térmicos. E com uma sorte inexcedível, encontrou os métodos físicos de contrôle que lhe permitiram seguir essa orientação e que foram o microscópio metalográfico e os raios X. Nos nossos dias, a Metalurgia é uma técnica luxuosa, cientìficamente apetrechada com as mais recentes industrializações da Física e com uma capacidade pràticamente ilimitada de satisfazer a todas as características específicas, desde que não seja condicionada pelas matérias-primas à sua disposição.

Aliás não poderia deixar de ser assim, porque as exigências da Técnica em aços especiais e em ligas leves são de tal forma severas, que só conseguem ser respeitadas à custa de certos tipos bem definidos — embora de composições variáveis entre largos limites — o de um controle apertado e ràpidamente conduzido, das operações de fabricação. E o problema é particularmente delicado no que se refere ao fabrico dos aços, porque não é possível prescindir de certos elementos de liga que podem intervir em percentagens consideráveis e cuja Metalurgia em numerosos casos é absorvente e cara.

São muito poucos os aços especiais que além dos elementos de origem não contêm crómio e níquel; mas os restantes elementos têm um carácter até certo ponto específico e que se tornou já quase clássico embora sem ser rigorosamente geral — o tungsténio e o vanádio nos aços rápidos, o molibdénio nos motores de êmbolo e em certos tipos de «inox», o titânio nas turbinas de vapor e o nióbio e o tântalo nas turbinas de gás.

O aparecimento na Técnica destes metais de liga mais ou menos raros e de obtenção sempre difícil, assim como a utilização quase obrigatória de certos elementos em apa-

relhagem recente ou destinada a fins especiais, fez surgir um novo capítulo da Metalurgia caracterizado por uma extensa dispersão de objectivos e por uma complexidade acentuada sob os pontos de vista científico, técnico e económico.

Estas características conduziram a situações curiosas no domínio da técnica desses elementos ou dos compostos em que eles aparecem. Assim, os Estados Unidos estão a proceder a um exame sistemático das cinzas dos carvões betuminosos da Virgínia do Oeste, com a finalidade de estudar o possível aproveitamento de cerca de 40 elementos presentes, alguns dos quais como o gálio, o germânio, o lantânio e o zircónio são susceptíveis de ter interesse directo — apesar de existirem em percentagens bastante inferiores a 1 % — desde que se encontrem processos económicos para a sua recuperação. Também nos Estados Unidos se vai montar um laboratório de pesquisa destinado exclusivamente ao titânio e às suas ligas e se pensa construir uma fábrica de bióxido de titânio destinado a pigmentos, no valor de 400.000 contos. O germânio que tem sido já extensivamente usado como metal semi-condutor em aparelhagem electrónica, parece estar sèriamente ameaçado pelos ensaios feitos sobre o emprego do silício puro, o qual apesar de ser até à data, igualmente caro, não apresenta restrições quanto às reservas existentes. O cério, cujo campo de aplicação tem sido até agora bastante reduzido, apresenta-se com eventual interesse futuro — sob a forma de uma mistura de sais céricos e cerosos — como catalisador da decomposição da água, por meio da energia solar.

Mas quando se entra no domínio dos elementos especiais, cai-se inevitàvelmente no problema do urânio a que não pode deixar de andar associada a ideia da energia do futuro, que poderá resultar da transposição para o campo industrial dos recursos potencialmente ilimitados da energia atómica. Simplesmente, não é provável talvez que esse objectivo seja conseguido em menos de 15 anos, o que parece ser até certo ponto ilógico em face da evolução que o problema tem sofrido.

Na realidade, a primeira bomba atómica explodiu em 16 de Julho de 1945; a sua construção foi uma maravilha de previsão teórica em todos os pormenores inclusivamente nas dimensões; a investigação atómica depois da guerra tem sido intensa por todo o mundo; e é por isso quase incompreensível que em 1953, a energia atómica industrial apareça ainda como nebulosa e distante. E não se pode dizer que o problema não tenha sido atentamente considerado, em particular pelo que se sabe, nos Estados Unidos, onde se organizaram em 1951, quatro grupos de companhias industriais — entre as quais a «Monsanto», a «Dow», a «Pacific Gas» — que trabalharam em cooperação com a Comissão de Energia Atómica e cujos primeiros relatórios, independentes uns dos outros, foram publicados há relativamente pouco tempo. Mas de todos eles ressalta uma dificuldade fundamental de ordem económica e que é a seguinte: Devido ao custo elevado da exploração dos reactores atómicos, o preço da energia só pode ter interesse industrial se o Governo comprar o plutónio produzido, pelo menos nos primeiros cinco anos do funcionamento.

E esse custo elevado resulta de um conjunto de factores ainda não estudados nas realizações industriais correntes e que se tornaram típicos das instalações atómicas.

Tomemos por exemplo, o relatório do grupo constituído pela «Monsanto Chemical Corporation» e pela «Union Electric Corporation». O processo adoptado é o de um reactor térmico de urânio enriquecido, utilizando a grafite como moderador e o sódio como agente refrigerante. Uma central para 550 000 kW foi orçamentada em 1 milhão e 300 mil contos e daria o kWh a 11 centavos desde que houvesse mercado para todo o plutónio. A instalação em si não seria mais cara do que a de uma central térmica de construção moderna. Mas os gastos de exploração seriam sempre muito elevados atendendo ao preço do urânio 235, às possíveis perdas de sódio e de grafite, e ao consumo de energia na aparelhagem auxiliar, para a qual se teria de prever uma potência instalada de 5 000 kW.

Mas não se trata no momento presente, apenas de uma questão de preço. Há que

considerar além disso, problemas que ainda não conseguiram ser resolvidos ou que estão sujeitos a aperfeiçoamentos futuros tais como as bombas e contadores para o sódio, a reacção entre o sódio e a grafite, o efeito de dilatação da grafite, e o perigo de carburização e endurecimento dos tubos delgados dos refrigerantes.

Apesar de tudo, dificuldades análogas não são novas na Técnica. As altas pressões levantam ainda problemas insolúveis como por exemplo, o da permeabilidade do hidrogénio na zona das 3 000 atmosferas. Os processos de fluidização fazem surgir quase sempre complicações suplementares quando se pretende generalizar o seu emprego. Os depósitos de óxido de chumbo que se formam sobre as velas dos motores só muito recentemente conseguiram ser dissolvidos por adição de fosfato de tricresilo às gasolinas de elevado índice de octana. Os foguetões e projécteis dirigidos continuam a manter a actualidade de certos problemas pendentes, no que se refere ao fluído de propulsão — actualmente na fase de ensaio da hidrazina — à protecção dos metais por revestimentos resistentes até 2 700° e aos plásticos utilizados no isolamento dos diferentes circuitos eléctricos.

Mas de qualquer modo, as dificuldades novas que vão surgindo à medida que o campo da Técnica se amplia, constituem um estímulo permanente para o estudo e para a investigação científica. E os problemas a que temos de fazer face na Engenharia de hoje são bastante mais complexos do que há poucos anos e vão caminhando invariàvelmente no sentido de uma complexidade cada vez maior. O engenheiro de hoje já não pode ser exclusivamente o homem sabedor, com experiência e dinamismo, que sabe vencer com critério as dificuldades maiores ou menores do dia-a-dia. Tem de ser também o cientista concreto habituado a procurar as causas exactas dos fenómenos e a interpretar as razões de discordância entre as previsões teóricas e a realidade experimental. E destas qualidades que se sintetizam na capacidade de conhecer com precisão as condições de rendimento máximo em que pode trabalhar, resulta o sentido económico da sua actuação.

Num Mundo como o de hoje, que gravita em torno da economia no consumo dos motores, do automatismo resultante dos progressos da electrónica, do racionalismo das tendências da construção e dos recursos de renovação da química industrial, o engenheiro deixou de ser apenas o «realizador do presente» para se tornar fundamentalmente o «modelador do futuro». E é absolutamente axiomático que este objectivo só pode ser atingido à custa de uma preparação científica adequada às exigências cada vez mais apertadas que a Técnica nos impõe.

Mas esta preparação científica não chega só por si se não for secundada por uma rigorosa disciplina de acção. O engenheiro não pode ser um «dilettante» da Ciência mas tem de ser um tradutor da Ciência em termos de aplicação e de pesquiza; e é neste aspecto que a sua disciplina se revela, pela capacidade de impor um rumo a si próprio e de integrar nesse rumo a organização conjunta que dele depende.

Há pouco mais de um ano, o Director da Universidade de Rochester afirmava a propósito dos problemas científico-técnicosnos Estados Unidos, o seguinte:

> «Há uma crise profundamente difícil que atravessam na América todas as grandes indústrias, profissões e ofícios e que é a criação de especialistas de elevado nível profissional. Não falando já de outras profissões, não há dúvida de que não há gente suficiente com elevado nível profissional na Engenharia e nas profissões aparentadas.»
>
> . . . . . .
>
> «A extraordinária força da Engenharia em aplicar o conhecimento científico — em transformá-lo num instrumento, num processo ou num bem de consumo — está a provocar uma tal procura da Ciência que o problema da falta de bons profissionais é também o problema das grandes instituições em que os cientistas

se produzem. Nota-se já uma falta de cientistas, desses homens de pesquiza que facultam os dados básicos que os engenheiros vão utilizar. E este facto acaba por dar origem inclusivamente a uma falta da Ciência necessária».

«Houve um tempo em que o corpo dos conhecimentos da Ciência, em particular da Física e da Química, estava de tal maneira adiantado em relação ao progresso geral, que havia um atrazo entre a produção da Ciência e a aplicação da Ciência. Este atrazo vai-se reduzindo. A própria crise em que estamos envolvidos neste momento, em que precisamos de novas armas, de novos processos e de novas respostas aos desafios, está a fazer com que nos voltemos cada vez mais para a Ciência a fim de encontrar ideias e lhes dar execução. O País não está a dar importância suficiente à produção de cientistas de base, nem à criação e desenvolvimento de um corpo mais completo de princípios científicos fundamentais».

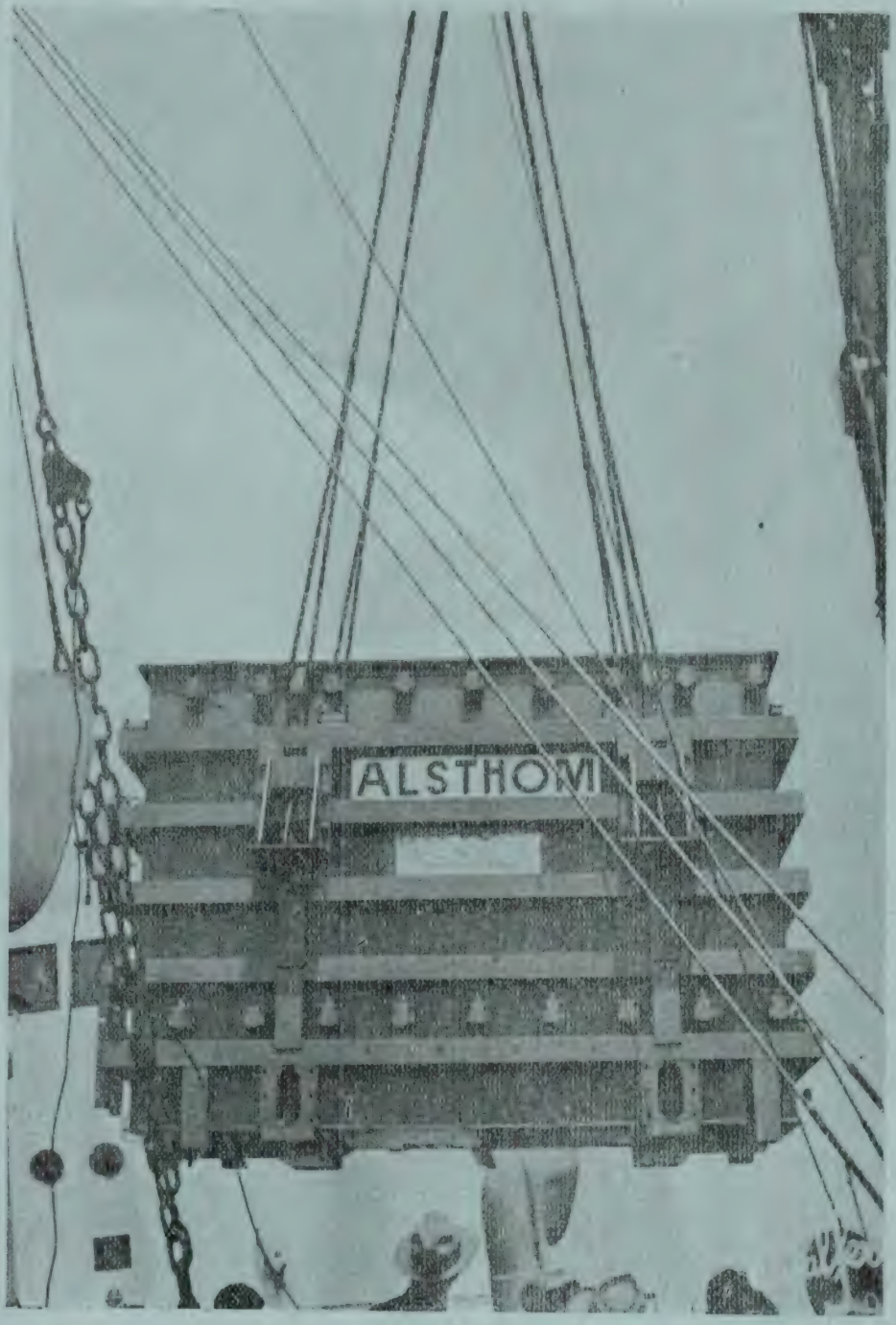
O autor escreveu o artigo de que se fez esta pequena transcrição, com o principal objectivo de analisar o problema dos Estados Unidos no campo internacional. Mas isso em nada invalida a verdade dos princípios expostos. A única dúvida que se pode pôr é a de saber até que ponto os pequenos países, destituídos dos opulentos laboratórios de pesquiza das grandes nações, sem a mesma variedade de recursos naturais e sem a garantia segura de mercados consumidores, poderão acompanhar econòmicamente este progresso forçado da Ciência e a sua projecção imediata do domínio da Técnica. A dúvida é até certo ponto compreensivel mas não se pode deixar subsistir, pela simples razão de que a Ciência não é um monopólio das grandes nações.

A Ciência é em última análise, o reflexo da luta incessante de cada país, para garantir o seu direito à existência no Mundo de hoje, através do seu nível intelectual e da sua capacidade de realização. As nações pequenas têm sem dúvida de se sujeitar ao condicionalismo das suas dimensões e dos seus recursos mas isso não implica que deixem de vincar e defender a sua posição dentro do consenso geral. E por isso não podem partir da hipótese de que lhes basta exclusivamente decalcar e adaptar as soluções alheias já ensaiadas e conhecidas, sem nunca se lançarem em soluções próprias de perspectivas atraentes mas de resultados ainda duvidosos. Aliás as soluções alheias partem naturalmente de uma série de premissas, que só por acaso serão exactamente as mesmas dos casos semelhantes a resolver; e por isso, podem conduzir com frequência a erros grosseiros e a resultados de interesse económico muito discutivel. O problema foi magistralmente definido pelo Presidente da «Institution of Chemical Engineers» de Londres que afirmou a propósito da Engenharia Química: «Enquanto não recuperarmos a iniciativa no projecto e na construção das instalações industriais, seremos forçados a comprar o «know-how» a um alto preço no estrangeiro e apesar disso, não será com certeza o último «know-how».

E este «know-how» no qual reside em última análise, a verdadeira economia da Indústria, é o resultado da aplicação sistemática e produtiva da preparação científica aos problemas da prática e constitui o património técnico constantemente renovado, que garante o dinamismo indispensável no domínio das realizações. Mas uma aplicação sistemática e produtiva envolve uma coordenação de esforços e uma base financeira a que é preciso imprimir a regularidade de andamento e orientar o sentido de evolução. Os problemas científicos têm de se enquadrar portanto, num suporte de organização do qual resulte um rendimento apreciável nos resultados obtidos, que compense o capital empregado na investigação. E quer se trate da investigação subsidiada pelo Estado, quer da que é financiada pelas empresas particulares, tem de se admitir que o capital investido não pode deixar de dar lucro, se bem que a longo prazo, como não pode deixar de ser. Em todo o caso é muito difícil contabilizar os lucros da investigação, da qual se pode dizer sem grande erro, que ao tratar-se de produtos novos, apenas 5 % dos casos, conduzem a resultados satisfatórios; e por isso, o único caminho a seguir será o de trabalhar

SOCIÉTÉ ALSTHOM

PARIS



2.º Transformador 25.000 KVA-150 KV.—para a Subestação de Setúbal da Companhia Nacional de Electricidade

DELEGADOS DA ALSTHOM:

AGÊNCIA GERAL DE MATERIAL ELÉCTRICO, L.DA

Rua dos INDUSTRIAIS, 4, 1.º • LISBOA • Telefones 6 0692 - 6 6082

ENGRENAGENS «CITROEN»

31 Quai de Grenoble — Paris XV°

REDUCTORES E MULTIPLICADORES DE VELOCIDADE, para:

— Máquinas hidráulicas, de vapor
— Motores de explosão
— Compressores, Ventoinhas
— Indústria metalúrgica
— Indústria do cimento
— Indústria química
— Fábricas de papel
— Fábricas de fiação e de tecidos
— Indústria da alimentação
— Indústria da borracha
— Tinturarias

ENGRENAGENS CILÍNDRICAS E CÓNICAS

— de dentes direitos, helicoidais e «à chevrons»

APARELHO DE VERIFICAÇÃO DO PASSO DAS ENGRENAGENS

LIGAÇÕES ELÁSTICAS CITROEN (patente Wellman-Bibby)

— para todas as transmissões de movimento
— 500.000 referências no mundo inteiro com a aplicação destas ligações a mais de 80 milhões de cavalos

BOMBAS CENTRÍFUGAS «BERGERON»

155 Boulevard Haussman — Paris

BOMBAS CENTRÍFUGAS

— Estações elevatórias — Docas — Indústrias diversas
— Alimentação das cidades em água potável
— Evacuação das águas de esgotos

FILTRAGEM E ESTERILIZAÇÃO DAS ÁGUAS

C. Chabal & Cie. — 34, Rue Ampère — Paris 17°

— Distribuição de água potável
— Estudos de redes de esgotos e depuração das suas águas

EM PORTUGAL:

LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA
NA AMADORA

R. Vice-Almirante João António de Azevedo Coutinho

AMADORA Telef. VENDA NOVA 48

nas condições óptimas de aproveitamento ou o que é o mesmo, de pôr todos os recursos da preparação científica e da disciplina profissional ao serviço dos resultados prováveis que se pretende atingir.

Por outro lado ainda, a organização técnica dos tempos actuais não constitui uma estrutura estática que se possa definir rìgidamente mas tem de se adaptar sem descontinuidades, às novas tendências e aos novos horizontes. A Técnica entrou insensivelmente numa fase de «irreverência» — que aliás se reflete um pouco na própria mentalidade da nossa época — sem um respeito exagerado pelas tradições e sem a preocupação de seguir integralmente os processos já consagrados do passado; e neste aspecto, a escola americana é particularmente representativa. Os resultados são bons ou maus em si próprios, e não devem ajustar-se demasiadamente a padrões fixos, que possam restringir ou deformar os graus de liberdade das soluções. Em todo o caso, esta atitude não é destituída de um certo risco mas é a única que tem vitalidade suficiente para poder prevalecer. Os aviões «Douglas», que têm dominado o mercado mundial e que atingiram talvez o expoente máximo no campo dos motores de êmbolo com o célebre «DC-6 B», estão a ser ultrapassados no momento actual, porque o «DC-7» se atrazou em relação ao «Super-Constellation», ao «Viscount» e até mesmo ao «Britannia», no domínio da turbo-propulsão. Mas também é certo que não são as Companhias de Aviação pelo menos directamente, que pagam os insucessos como no caso do «Brabazon», que teve de ser desmantelado depois de uma longa série de ensaios, cuja despeza total foi de 500.000 contos.

A investigação científico-técnica realizada em condições de plena concorrência comercial, não pode deixar de estabelecer um compromisso económico entre os capitais que deve permanentemente investir, e os benefícios resultantes a que tem esperança de chegar. É dentro deste espírito, que a «General Electric» por exemplo, achou que valia a pena gastar 1 milhão de contos, na construção de um laboratório destinado à investigação nos domínios da turbo-propulsão e do turbo-jacto; e embora noutra escala, é pela mesma razão que os Estados Unidos ocupam na pesquisa científica 140.000 cientistas e engenheiros, dos quais, metade está distribuída pelas Universidades e pelos Laboratórios industriais.

Mas quando o problema do progresso técnico é posto nestes termos, acaba por conduzir implìcitamente, à análise objectiva do grau de especialização a que se deve chegar, quer se trate do aspecto mais profundo da pesquiza básica, quer se encarem os casos mais simples do projecto ou da renovação. E este problema é particularmente delicado porque está em relação estreita com os recursos de cada país e com o desenvolvimento da sua industrialização.

No relatório de uma Missão da O. E. C. E. aos Estados Unidos, encarregada de estudar os problemas gerais sobre «Aparelhagem da Indústria Química», descreve-se uma firma que se dedica exclusivamente a projectar, na qual cada projecto tem de passar por mais de 50 especialistas, antes de ser dado por concluído. E o sistema é preconizado para trabalhos de remodelação e de pesquiza, atendendo aos bons resultados que se têm obtido.

É evidente que este processo só é utilizável quando se verificam as condições económicas de produção em série e por isso, a sua transposição integral para regimes de trabalho diferentes, não tem um significado absoluto. Mas independentemente disso, é fora de dúvida que a existência de especialistas em pormenores restritos do projecto constitui sempre uma vantagem, sob o ponto de vista de garantia da execução. E pode-se ir mesmo mais longe e afirmar que a execução só pode ser perfeita, quando resultar de uma série completa de trabalhos de especialistas; simplesmente em vez de 50, podem ser apenas 5 ou 10, abrangendo cada um deles, uma gama mais extensa de conhecimentos de aplicação.

De qualquer forma porém, a especialização tem de constituir um domínio bem definido, em que a teoria e a prática se equilibrem e se completem, o que pode ser difícil de conseguir, se a sua extensão ultrapassar os limites normais da capacidade de aprendizagem e de actualização. Corre-se então o risco de cair numa espécie de «amadorismo» que

pode destruir lentamente, a possibilidade de uma contribuição eficaz no aperfeiçoamento, na investigação e no desenvolvimento económico.

O progresso das nações sob o ponto de vista técnico exige por isso um grau de especialização que seja a garantia de um elevado nível profissional. Mas é evidente que esse grau de especialização não pode ser adquirido na Escola, a não ser à custa de cursos de opção mais ou menos extensos, mas sem possibilidades práticas de realização, na maioria dos casos; sendo assim, a especialização tem de ser adquirida posteriormente e isso transforma os primeiros anos da vida profissional, num complemento indispensável da preparação escolar, mas já com um sentido vincado de utilidade directa. A Escola empenha-se por consequência em dar as bases científicas, em ensinar os fundamentos específicos e em modelar a formação do Engenheiro através de exemplos concretos, que reproduzam tanto quanto possível, as condições da prática usual. E nestes exemplos, cabem perfeitamente problemas de pesquisa suscitados pela própria Indústria, o que já em alguns países constitui uma forma de colaboração utilitária, entre a Universidade e as Companhias industriais.

Por outro lado, esta missão formativa que a Escola tem a desempenhar é também a melhor garantia da criação das qualidades de estudo, de observação e de síntese que constituem os atributos fundamentais do engenheiro, na sua ascensão progressiva através da hierarquia profissional. O engenheiro, afastado dos problemas restritos de execução directa, contidos no âmbito da especialização a que se dedicou, passa a ser um coordenador de especializações diversas, das quais não tem normalmente, o domínio absoluto dos pormenores. Mas isso não quere dizer que não conheça — e por vezes melhor que o próprio especialista — o enquadramento de cada uma dessas especializações dentro de um plano de conjunto, sobre o qual tem de actuar e de tomar decisões. E para conseguir esse objectivo, mais uma vez a sua preparação de base é chamada a intervir, como ponto de partida para uma actualização integral, nas novas zonas de acção da sua actividade técnica e directiva.

Apesar de tudo, a preparação de base, mesmo completada pela experiência adquirida durante mais ou menos tempo nas funções especializadas, pode não ser totalmente eficiente. Só o será se as condições de trabalho facultarem elementos de estudo e largo tempo disponível para reflectir intensamente, sobre as directrizes que é necessário definir com rapidez, ao nível mais delimitado da especialização.

Não se pode dizer no entanto, que seja sempre fácil respeitar as exigências concretas dos campos de especialização nem a orgânica executiva do conjunto hierárquico das funções. Mas é preciso defendê-las a todo o custo, porque elas exprimem as condições necessárias de dinamismo e de disciplina no funcionamento da estrutura técnica. São elas que conferem uma força viva ilimitada a uma estrutura em equilíbrio evolutivo e que transportam os resultados da pesquisa científica e da audácia das realizações, para o plano mais genérico da economia nacional.

Todos nós que nos orgulhamos do espírito que trouxemos da Escola, ou que nos esforçamos por corrigir os seus defeitos e conservar a sua vitalidade, temos a noção de que a vida profissional exige um trabalho contínuo de actualização, de aperfeiçoamento e de coragem. Sabemos também que a nossa acção não pode ser isolada mas que tem de ser exercida em organizações técnicas funcionalmente perfeitas. E não perdemos de vista ainda, que o factor tempo é em todos os momentos uma espada de Damocles, que inexoràvelmente compromete o valor económico de muitas soluções.

E é este sentimento do valor exacto das dificuldades, aliado à confiança nos recursos da Engenharia, que faz nascer o verdadeiro sentido da responsabilidade profissional em relação à própria consciência, em relação aos programas económicos das organizações produtivas, e como consequência implícita, em relação aos imperativos mais transcendentes e mais vastos dos interesses da Nação.

C. D. 669.3

Algumas Notas sobre a Hidrometalurgia do Cobre

PELO ENG.º QUÍM.-INDUST. (I. S. T.) VERGÍLIO RUI TEIXEIRA LOPO

O estudo dos processos de realização da Hidrometalurgia do Cobre e dos factores que a condicionam está, de uma maneira geral, feito em todos os tratados de Metalurgia, e pode ser complementado com a consulta de algumas publicações dispersas que aprofundam ou esclarecem certos aspectos deste capítulo da Metalurgia dos Metais não Ferrosos.

O carácter acentuadamente experimental que geralmente possui é justificado, por um lado, pelo aspecto específico que o tratamento por via húmida tem para cada tipo de minério ou sub-produto a tratar e, por outro, pela importância económica do assunto, que obriga a um conhecimento minucioso dos pormenores do tratamento.

Verifica-se, no entanto, que os moldes em que geralmente assenta a hidrometalurgia do cobre — como, de uma maneira geral, a de outros metais correntes — poderão ser susceptíveis de alterações mais ou menos profundas nos próximos tempos, quer nos métodos quer nos processos de realização prática. E que a generalização da hidrometalurgia como método de tratamento se deverá tender a acentuar como consequência de uma diminuição gradual do teor em cobre, como de outros metais, nos minérios de que são extraídos e de uma exigência simultânea de maior pureza nos metais recuperados.

As alterações que se poderão vir a dar neste campo necessitarão, certamente, de um sucessivo aperfeiçoamento dos conhecimentos de carácter experimental e de natureza teórica — de resto intimamente ligados — em que se possam vir a alicerçar.

As notas que seguem não têm outra pretensão que não seja a de coligir e coordenar, em linhas gerais e muito resumidamente, alguns dos elementos de maior interesse publicados, e de lhes introduzir alguns elementos determinados ou deduzidos ao considerar problemas particulares da metalurgia do cobre por via húmida.

I — Alguns aspectos gerais da hidrometalurgia dos metais não ferrosos

O facto, bem conhecido, de os processos hidrometalúrgicos se situarem em relação aos pirometalúrgicos como muito mais recentes explica, até certo ponto, algumas das características da hidrometalurgia dos metais correntes.

Pode dizer-se, sem grande erro, que a hidrometalurgia começou a tomar forma, como método de tratamento, por volta de 1750 com a lexiviação das pirites de Rio Tinto — «heap leaching» — e que o cobre foi o primeiro dos metais cuja produção foi obtida por via húmida.

Estas duas circunstâncias permitem compreender o aspecto pronunciadamente evolutivo que hoje têm os processos hidrometalúrgicos e a tendência para a sua generalização. E justificam o desenvolvimento relativamente maior que a hidrometalurgia do cobre tem tido em relação à dos restantes metais correntes.

Efectivamente, ainda em 1907 se considerava nos Estados Unidos que «a class of hydrometallurgical processes is not one in which to seek the means of starting a new mining and metallurgical enterprise» e,

segundo Sullivan, as primeiras operações comerciais de tratamento de minérios mistos, oxidados e sulfurados, iniciaram-se naquele País em 1917. Ainda segundo este autor «the pioneers in leaching mixed ores had a difficult task before them since they had very little fundamental data on the chemical and physical factors of leaching».

Os processos hidrometalúrgicos, se bem que ainda hoje mais importantes para o cobre, estão generalizados ao zinco, ao níquel, ao manganês, ao urânio, ao vanádio, ao cobalto e até ao estanho, quer como meios de tratamento exclusivo, quer como complementos de processos pirometalúrgicos, quer ainda como meios de separação de constituintes secundários dos seus minérios.

Verifica-se, no entanto, que são acentuadamente específicos para cada metal e para cada tipo de minério a tratar; efectivamente, «é possível tratar a ustulação, fusão, conversão e refinação do cobre num plano geral, sem grande desvio da prática encontrada nos vários casos, excepto em diferenças de pormenor, mas os processos hidrometalúrgicos diferem em tal medida uns dos outros que é difícil tratá-los num plano que os inclua a todos».

Sem um cáracter de completa generalidade, portanto, podem-se considerar como operações comuns da hidrometalurgia as seguintes:

—Preparação física do minério ou sub-produto (desintegração, moagem, classificação);

—Tratamento químico prévio (ustulação — clorurante, sulfatizante ou simplesmente oxidante —, calcinação, etc.);

—Lexiviação — Extracção do metal ou do seu composto pelo dissolvente selectivo (no local, «heap leaching», por lavagem simples, com agitação);

—Separação da solução da parte estéril ou sem interesse para a sequência do processo;

—Tratamento da solução (eliminação dos constituintes solúveis prejudiciais à sequência do processo);

—Precipitação do metal (electrólise, evaporação do dissolvente, processos químicos).

A pormenorização destes processos gerais encontra-se feita na literatura corrente com maior ou menor sistematização e está fora dos objectivos destas breves notas.

Bastará notar que a lexiviação é, em grande parte, condicionada pelas operações que a antecedem e que os factores que determinam a escolha do dissolvente são essencialmente os seguintes:

—disponibilidade e preço;

—acção selectiva (ataque fácil do metal mas sem acção sobre a ganga);

e acessòriamente:

—possibilidade de ser utilizado a baixas temperaturas;

—ser susceptível de ser regenerado.

Por satisfazer a grande parte destes requisitos é que o ácido sulfúrico tem emprego generalizado na hidrometalurgia do cobre, do zinco e do manganês e a amónia na do cobre, níquel, cobalto, etc.

II — Hidrometalurgia do Cobre. Características fundamentais

a) *Factores que a condicionam*

Não parece ser possível, ainda hoje, definir uma orientação geral ou uma tendência comum nos métodos de tratamento dos minérios de cobre que permita determinar «à priori», em cada novo caso concreto, a escolha entre a via húmida e a via seca.

Efectivamente, só como primeira aproximação se poderá hoje dizer que «os processos pirometalúrgicos são especialmente utilizados para o tratamento de sulfuretos, cobre nativo e alguns minérios oxidados de

alto teor, enquanto que os processos hidrometalúrgicos têm particular aplicação no tratamento de minérios oxidados.»

O problema é, como sempre, de natureza económica; mas, neste caso, as variáveis que o condicionam têm que ser determinadas, na quase totalidade, para o caso especial a considerar.

Dentre estas variáveis ter-se-ão como de maior importância, sob o aspecto técnico, a natureza dos constituintes do minério e sua concentração, granulometria e porosidade e sob o aspecto económico, o custo da concentração e da aglomeração (sinterização, briquetagem, etc.), o custo do combustível com que seria feito o tratamento por via seca e o do reagente e agente de precipitação que permitiriam o tratamento por via húmida; custo de energia eléctrica e do vapor.

Além destas variáveis há naturalmente que considerar outras que, no estado actual dos conhecimentos, só em regra poderão ser conhecidas por via experimental (como sejam o factor de forma dos poros e a influência da percentagem de finos no caso da via húmida, etc.)

Para a consideração do reagente que permitiria o tratamento hidrometalúrgico, poder-se-á ainda tomar como regra geral que:

1) a dissolução mais económica dos minérios oxidados é feita com ácido sulfúrico e para minérios sulfurados com sulfato férrico;

2) sob o aspecto químico existem outros dissolventes, mas a economia resultante da sua aplicação só é de considerar em casos muito especiais; dentre estes reagentes têm maior importância a amónia e o carbonato de amónio e depois o cloreto férrico e o ácido clorídrico; as limitações que tem a sua aplicação prática são principalmente originadas no baixo rendimento da dissolução, mesmo para minérios de fina granulometria, e nas perdas de reagente.

Os processos de precipitação do cobre mais generalizados são a electrólise e a precipitação pelo ferro (sucata ou «pig iron»).

Um estudo sistematizado das variáveis que intervêm na hidrometalurgia do cobre, em especial a natureza dos constituintes, está feito por John Sullivan e publicado com o título «Chemical and Physical Features of Copper Leaching».

O autor estudou experimentalmente o comportamento de vários minérios americanos na presença de reagentes geralmente empregados para o seu tratamento por via húmida, determinando a influência da granulometria, temperatura, concentração do dissolvente e percentagem de finos na extracção do cobre.

Nesse estudo estão indicadas conclusões de muito interesse, especialmente tiradas para a azurite, malaquite, tenorite, crisocola, dioptase, cuprite, calcosite, bornite, covelite, calcopirite e tenantite.

Sem preocupações de rigor e duma maneira muito genérica, indica-se na fig. 1 a forma das curvas obtidas fazendo variar cada um dos factores referidos e que são de interpretação muito simples (representam-se em ordenadas a percentagem de cobre extractado e em abcissas o tempo).

O autor dá ainda elementos curiosos sobre o efeito do «factor de forma» dos poros a que adiante se fará referência e chama a atenção para a humidificação prévia dos produtos a extractar, factor de particular importância na lexiviação.

b) *Métodos de realização da lexiviação e precipitação*

1) — *Lexiviação*

A revista «Chemical Engineering Progress» publicou nos números de Agosto e Dezembro de 1951 um artigo com o título «Diffusion Rates in Extraction of Porous Solids» de Piret, Ebel, Kiang e Armstrong, cujo principal interesse reside em procurar aprofundar os conhecimentos existentes sobre os sistemas de extracção sólido-líquido partindo do princípio, efectivamente verdadeiro, de que «a influência de um sólido poroso inerte sobre a velocidade

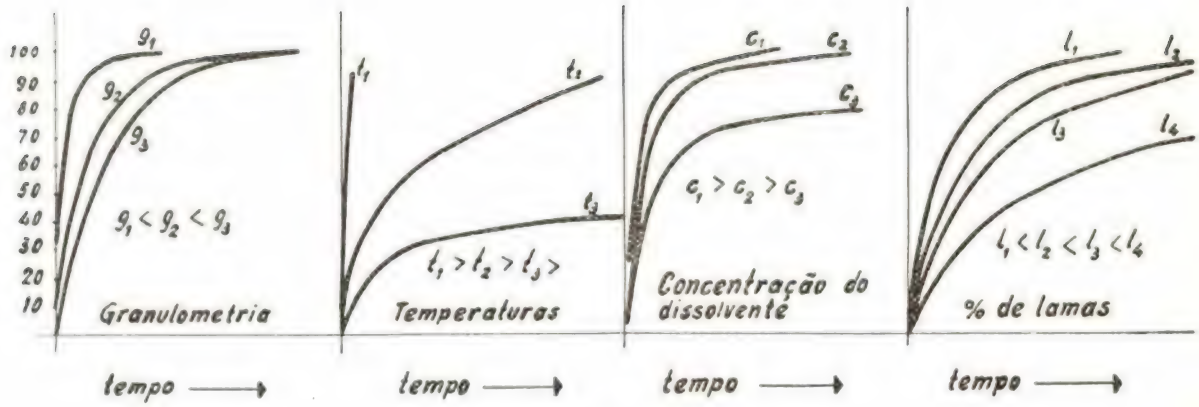


Fig. 1

de difusão não foi ainda extensivamente investigada».

Os autores introduzem o «factor de forma» dos poros, K^2, e obtêm, no caso de extracção descontínua, numa só fase e para esferas porosas, uma expressão que dá o valor da percentagem E de substância solúvel que fica por extractar no fim do tempo t. Essa expressão, que tem a forma usual dos integrais da «equação do calor» sob a forma de somatório, é a seguinte:

$$E = \frac{200\,a\,(a-1)}{3} \sum_{p=1}^{\infty} \frac{1}{\left[1 + a\left(1 + \frac{a m_p^2}{9}\right)\right]} e^{\frac{-m_p^2 Dt}{K^2 R^2}}$$

em que

a — razão de dissolução, definida como o volume da solução exterior por unidade de volume da solução nas esferas porosas

m_p — raízes da equação $\operatorname{tang} m_p = \dfrac{1}{1 + \frac{a}{3} m_p^2}$

R — raio das esferas em cm

D — coeficiente de difusão em cm^2/seg^{-1}.

A fim de evitar o cálculo de E, muito laborioso, é fornecida uma tabela de valores de E em função de a e de $Y = Dt/K^2R^2$ que permite a aplicação fácil da expressão deduzida.

Os autores consideram também os casos de extracção contínua e em fase dupla. Neste último estudaram o caso em que uma fase sólida ou líquida solúvel é progressivamente extractada por outra fase líquida ou gasosa através dos interstícios de um sólido poroso insolúvel; este caso é o que se aproxima mais da extracção dos metais dos minérios, mas a determinação dos valores das variáveis que exprimem E é mais difícil que nos casos anteriores.

As expressões achadas foram verificadas em extracções de sais solúveis de esferas de alumina e em condições variáveis de concentração, volume de dissolvente e de temperatura, para cloreto de potássio, cloreto de sódio, cromato de potássio, sulfato de cobre e ácido acético.

Em qualquer dos casos, as expressões deduzidas partiram da consideração de esferas porosas e abstrairam de certos efeitos secundários que aparecem na prática — reacções químicas, desintegrações do sólido, etc. — e que necessitam a introdução de factores correctivos.

Experimentou-se aplicar as relações deduzidas no caso de extracção em fase simples à lexiviação contínua de cobre e zinco de minérios pobres, em que se utilizou o ácido sulfúrico diluido como dissolvente.

Para isso introduziu-se um factor correctivo K′ na expressão de Y tal que

$$K' K^2 = \alpha$$

e determinou-se experimentalmente o valor de E para um tempo t_1 de extracção, em geral suficientemente longo para ter um valor igual ou inferior a 20 %.

$$E = \frac{r q_s}{q_1 - q_2 r + r q_s} \times 100$$

em que q_1 e q_2 representam as percentagens do metal a extractar antes e depois da lexiviação [1], q_s a percentagem de metal solúvel no produto lexiviado [1] e r a relação entre o peso do produto lexiviado e do produto não lexiviado, ambos calculados sobre seco.

Para o valor E (t_1) determinou-se α na expressão de

$$Y = \frac{Dt}{\alpha R^2}$$

e com o valor de α assim determinado estabeleceu-se a curva representativa de E (t).

experimentais, excepto no período inicial do tratamento; como o objectivo normal da determinação da E está em definir o valor de t, a partir do qual a extracção deixa de ser económica, o método deverá satisfazer se as conclusões tiradas nos dois casos apontados forem susceptíveis de se generalizar (para o que não temos elementos).

No entanto, na recuperação dos metais (e, em especial, na do cobre), a determinação do valor de t a partir do qual a extracção deixa de ser económica é da maior importância pelo elevado preço que geralmente têm os metais susceptíveis de recuperação

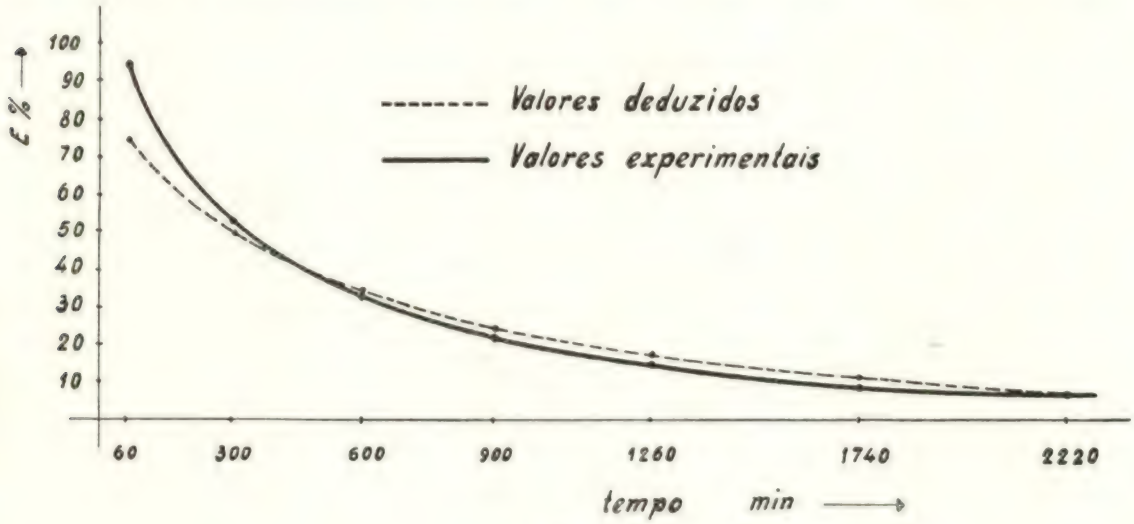


Fig. 2

As divergências encontradas em relação aos valores reais de E estão indicadas nas figs. 2 e 3, respectivamente correspondentes a extracções de cobre e de zinco, na sua maior parte sob a forma de sulfatos.

No primeiro caso, consideraram-se na determinação dos valores de E

$$D = 0{,}46 \times 10^{-5}\ cm^2\ seg^{-1}$$
$$R = 0{,}19\ cm$$
$$a = 15$$

sendo o valor de α resultante igual a 1,3.

O segundo caso refere-se ao mesmo minério e idênticas condições de lexiviação, sendo $D/\alpha = 0{,}27 \times 10^{5}$

Como se verifica, existe concordância entre os valores deduzidos e os valores

por via húmida. Os problemas concretos em que normalmente essa determinação se impõe são de duas naturezas:

— Projecto de uma nova instalação de tratamento.
— Utilização de uma instalação existente para o tratamento de maior quantidade de minério (aumento de capacidade) ou para o tratamento de um minério diferente daquele que é normalmente tratado.

Em qualquer dos casos há que determinar a curva E (t), com o maior rigor possível para valores de t elevados. Para estes valores, os factores de que necessàriamente se abstraíu na elaboração do estudo teórico (reacções secundárias, irregularidade na

[1] Ao fim do tempo t_1.

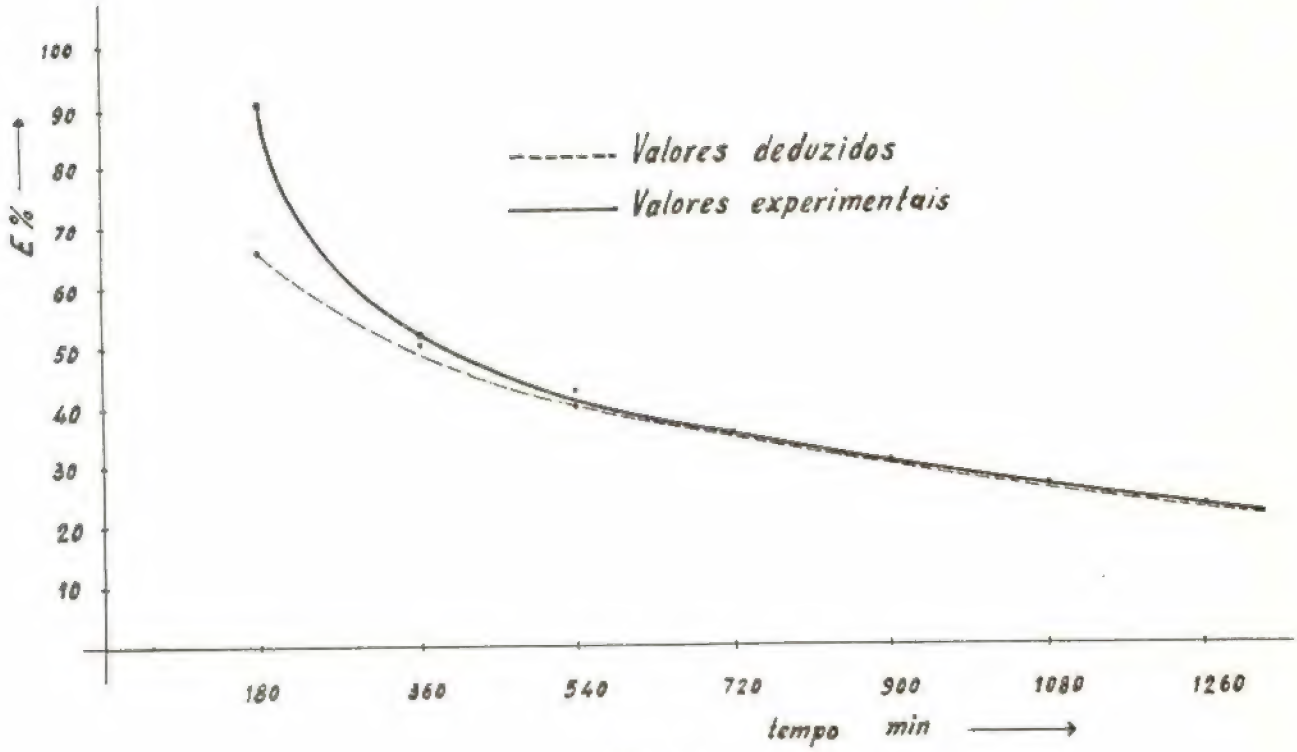


Fig. 3

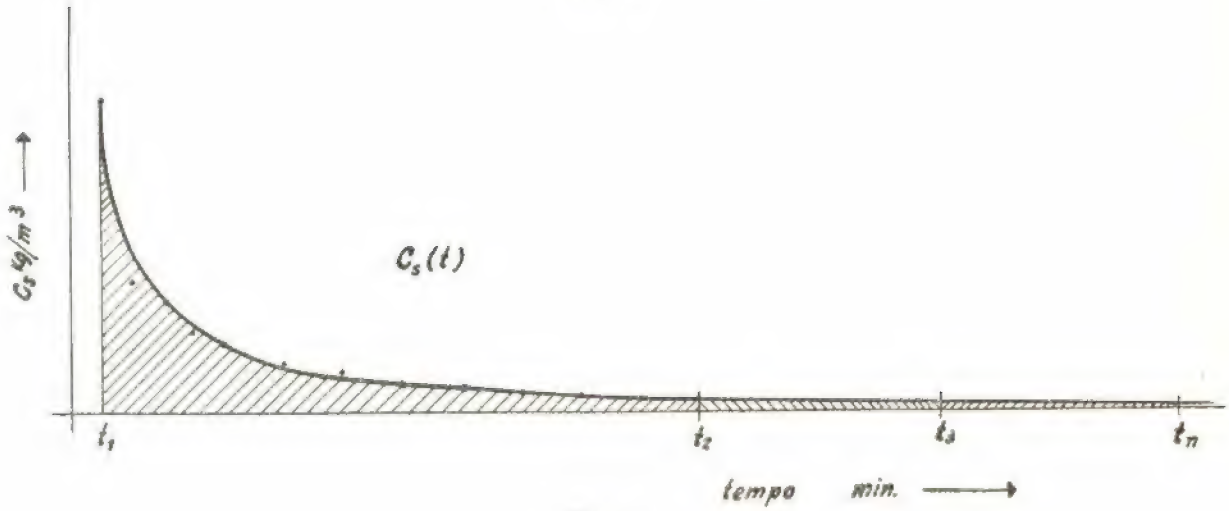


Fig. 4

composição granulométrica, percentagem de finos, temperatura) não se podem considerar desprezíveis, o mesmo sucedendo com o erro introduzido no estabelecimento de outras variáveis (factor de forma dos poros, concentrações na superfície de separação das fases no caso da extracção em fase dupla, etc.)

A curva que a representa será em geral da forma indicada na fig. 4, relativa a uma extracção do cobre de um minério pobre por soluções diluídas de ácido sulfúrico.

O processo que, nestes casos, parece mais conveniente, consiste em determinar nas condições experimentais (caso de uma instalação existente) ou em condições tão próximas das experimentais (caso de uma instalação nova) [1] a variação da concentração C_s das soluções obtidas na lexiviação com o tempo t, para caudal constante.

[1] Neste último caso a determinação da curva E (t) pelo processo indicado anteriormente servirá de base ao estabelecimento de condições próximas das condições experimentais.

O peso P do cobre extractado no intervalo de tempo $\overline{t_1 t_n}$ será dado por

$$P = \int_{v_1}^{v_n} C(v)\,dv = Q \int_{t_1}^{t_n} C_s(t)\,dt$$

em que

C — concentração das soluções obtidas
v — volume das soluções obtidas
Q — caudal

O peso P_1 do cobre susceptível de ser extractado será dado por

$$P_1 = Q \int_{t_1}^{\infty} C_s(t)\,dt = Q \int_{t_1}^{t_n} C_s(t)\,dt + Q \int_{t_n}^{\infty} C_s(t)\,dt$$

em que t_1 representa o tempo inicial e t_n um tempo aproximado do tempo ao fim do qual a extracção deixa de ser económica e cuja ordem de grandeza pode ser dada pelo método anteriormente descrito.

Por outro lado

$$P_1 = q_1 - r\,(q_n - q_s)$$

em que q_1 e q_n representam os teores no metal a extractar ao fim dos tempos t_1 e t_n respectivamente e q_s o teor em metal solúvel no fim do tempo t_n [1]

e

$$P = q_1 - rq_n$$

pelo que

$$P_2 = Q \int_{t_n}^{\infty} C_s(t)\,dt = P_1 - P = rq_s$$

Os valores de q_1, q_n e q_s são determinados por análise do minério e r é obtido experimentalmente.

Nestas condições, os valores de E_i ao fim dos tempos t_i, compreendidos entre t_1 e t_n, são dados por

$$E_i = \frac{\int_{t_i}^{\infty} C_s(t)\,dt}{\int_{t_1}^{\infty} C_s(t)\,dt} \times 100 = \frac{Q \int_{t_i}^{t_n} C_s(t)\,dt + rq_s}{q_1 - r\,(q_n - q_s)} \times 100$$

A medição da área representativa do integral que figura em numerador (feita a sua correspondência a peso de metal dissolvido) permite obter de uma maneira simples e rigorosa os valores de E_i.

No caso de se pretender utilizar uma mesma instalação para maior quantidade de minério, isto é, no caso de se ter de fazer frente a um acréscimo inesperado de produto a tratar ou de se verificar que esse acréscimo não permite a amortização de uma nova instalação, o novo «planning» de trabalho dará o valor t_3 como tempo limite em que é possível fazer a lexiviação.

O valor relativo da perda P_3 de metal, correspondente, é dado por

$$P_3 = \frac{Q \int_{t_3}^{t_n} C_s(t)\,dt}{q_1 - r(q_n - q_s)} \times 100$$

2) — *Precipitação*

Como se disse, os processos mais importantes de precipitação do cobre são a electrólise e a precipitação pelo ferro; a seguir vêm a precipitação por decomposição e eliminação do dissolvente (caso da amónia) e acessòriamente pelo anidrido sulfuroso, ácido sulfídrico e agentes redutores diversos.

A electrólise apresenta como principais vantagens a pureza do cobre obtido e a regeneração do ácido sulfúrico; exige, no entanto, uma purificação das soluções que aliada ao preço da energia eléctrica a limita em muitos casos.

(1) r tem o mesmo significado que anteriormente; q_1, q_n, q_s e Q entendem-se referidos à mesma quantidade de produto tratado.

A precipitação pelo ferro é empregada geralmente para a cementação do cobre de soluções diluidas e impuras e tem a vantagem de exigir instalações relativamente baratas; no entanto, obriga à refinação do cemento de cobre obtido e a um maior consumo de dissolvente.

O aprofundamento deste assunto está fora dos objectivos e das possibilidades destas breves notas, pretendendo-se apenas realçar os seguintes factos relativos à precipitação pelo ferro:

1) — A variação da pureza do cemento obtido é muito acentuada para teores de cobre baixos nas soluções de que se parte. A curva que a representa tem geralmente uma forma semelhante à indicada na figura 5.

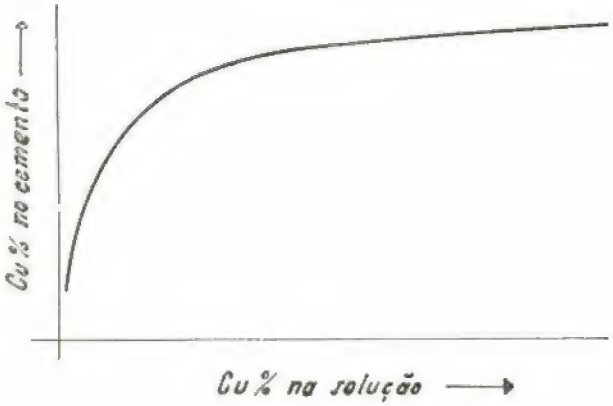


Fig. 5

2) — Os restantes factores a considerar na cementação pelo ferro são principalmente a acidez, o teor de Fe^{++} e Fe^{+++} nas soluções resultantes da lexiviação, a velocidade de passagem da solução (no caso da precipitação estática) e a temperatura. A acidez deverá variar entre dois limites tais que, excedendo o limite superior o consumo de sucata passa a ser acrescido e abaixo do limite inferior a pureza do cemento diminui como resultado da formação de sais básicos e hidróxidos.

c) *Rendimentos das operações hidrometalúrgicas*

1) — *Na lexiviação*

Convém definir dois tipos de rendimento:

I — *Rendimento de extracção do cobre solúvel,* ρ

Poderá definir-se como a relação entre o peso de cobre solubilizado e peso de cobre que seria possível solubilizar nas condições óptimas de extracção com o mesmo dissolvente e a mesma granulometria da matéria-prima. É portanto, dado por,

$$\rho = \frac{100 - E_n}{100}$$

ou

$$\rho = \frac{q_1 - r\,q_n}{q_1 - r\,(q_n - q_s)} \quad (^1)$$

Representando por i_n o teor de cobre insolúvel no dissolvente usado,

$$q_n = i_n + q_s$$

e, substituindo,

$$\rho = \frac{q_1 - r\,i_n - r\,q_s}{q_1 - r\,i_n}$$

Como, para um dado minério q_1, r e i_n são constantes

$$\rho = f(q_s)$$

II — *Rendimento global da recuperação do Cobre* η

Poderá definir-se com a relação entre o cobre recuperado e o cobre total contido no minério.

A relação entre o cobre solubilizado e o cobre total é dada por

$$\eta' = \frac{q_1 - r q_n}{q_1}$$

(1) Em que as letras têm o mesmo significado que anteriormente.

Este valor é fundamentalmente afectado pelo tratamento químico que precede a lexiviação, em particular a ustulação, e dá a medida do grau de solubilização que se atinge nessas operações em relação ao dissolvente considerado. Depende fundamentalmente da natureza dos constituintes do minério, granulometria e condições de tratamento.

Na precipitação do cobre, a relação entre o cobre precipitado e o cobre contido nas soluções resultantes da lexiviação é dada por

$$\eta'' = 1 - \frac{VC}{q_1 - rq_n}$$

em que

V — volume da solução à saída da instalação de precipitação (1)

C — concentração da solução à saída da instalação de precipitação.

O valor do rendimento global da recuperação do cobre será dado por

$$\eta = \eta' \cdot \eta'' = \frac{q_1 - qr_n - VC}{q_1}$$

Se, dentro de determinados limites de q^1 (geralmente estreitos) se mantiverem V, C e q_n constantes, isto é, se se mantiverem as mesmas condições de lexiviação e precipitação, a variação do rendimento em função de q_1 é dada por uma curva da forma da indicada na fig. 6.

Conclui-se que, se nesse intervalo for possível reduzir a relação $\frac{V}{q_1}$ (isto é, trabalhar com soluções mais concentradas) mantendo q_n e C constantes, o valor do rendimento aumenta. Isto consegue-se na prática trabalhando com minério de fina granulometria (portanto com extracção por «agitação» em vez de lavagem simples) e fazendo a recirculação das soluções.

Estas expressões de rendimento, muito simples embora não correntes, são de grande utilidade ao considerar pràticamente um problema de tratamento de minérios de cobre por via húmida, quer no controle da lexiviação, quer na determinação do valor a atribuir ao minério.

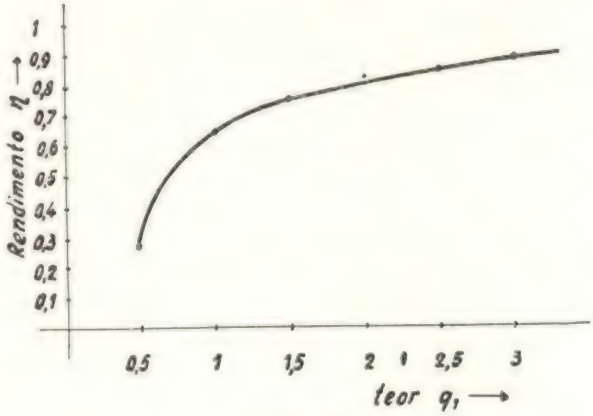


Fig. 6

III — Algumas tendências prováveis da hidrometalurgia do cobre

É opinião corrente que a aplicação dos processos hidrometalúrgicos aos metais não ferrosos se tende a generalizar como consequência da necessidade de tratar minérios cujo teor na origem vai sucessivamente decrescendo e cuja concentração ou não é viável, ou deixa de ser económica em face das possibilidades de tratamento por via húmida.

Efectivamente, há cerca de cem anos o teor médio dos minérios de cobre extraídos era de 20 %; de 1914 a 1930 o teor médio dos minérios extraídos nos Estados Unidos foi de 1,5 % Cu e actualmente está em 0,9 % Cu; e, embora dependendo da cotação do cobre, parece que a extracção nos Estados Unidos também se pode fazer em certos casos a partir de minérios que na origem têm 0,4 % Cu (1).

Em 1938, a décima parte do cobre, a quarta parte do zinco, metade do ouro e três quartas partes do cádmio produzidos nos Estados Unidos foram recuperadas por métodos envolvendo lexiviação (2).

Actualmente, a extracção do cobre por processos hidrometalúrgicos está em cerca de 15 % da produção mundial do cobre, o

(1) ≃ Referido a q_1.

(1) O Engenheiro Westinghouse, Abril 1952.

(2) Chemical Engineering Progress, Dez. 1951, pg. 628.

que se compreende, em parte, pelo facto de estar computada em cerca de 10 % a percentagem de cobre existente na Natureza sob a forma de óxidos; a extracção do zinco por via húmida nos Estados Unidos passou para 40 % da produção total neste país.

Segundo Van Arsdale «the future will very likely see even greater dependence on leaching techniques, than at present, and the metallurgist's job is to be ready with effective and efficient processes when those demands are made».

Por outro lado, segundo Newton e Curtis «with the ever increasing practicability of roasting flotation concentrate, leaching the roasted material, and then precipitating the copper from solution, either electrolytically or chemically, is not at all impossible that leaching processes might some day displace entirely the smelting methods used at present. The results of laboratory tests, however, are not so readily attainable on a commercial scale. . . . .

Nevertheless the hydrometallurgical processes are improving rapidly in attractiveness, ease of operation and efficiency of extraction».

Não é fácil prever os progressos que condicionarão a aplicabilidade da hidrometalurgia nos próximos anos, a não ser em casos especiais, cujo desenvolvimento se iniciou já.

Assim, na *preparação física dos minérios* é de esperar que se verifique uma melhoria resultante do estudo, ainda incipiente em muitos casos, da influência da granulometria, tipo de fractura, percentagem de finos e da porosidade na lexiviação dos minérios; como consequência, é possível que «as reacções dos processos normais de lexiviação, possam ser aceleradas tão pronunciadamente que os tanques de lexiviação do futuro possam muito bem ser reduzidos a simples bombas e ao tubo condutor ligando um ciclone com uma série de espessadores» ([1]).

As condições em que se faz a *ustulação* estão já a ser modificadas pela introdução dos processos de fluidização e, embora até agora não se tenha chegado na Europa a conclusões definitivas sobre o comportamento do cobre ao que parece, é provável que se alarguem econòmicamente as possibilidades de solubilização do cobre nos dissolventes normais.

É possível, por outro lado, que velhos processos retomem a sua posição como meios de recuperação quase completa de muitos metais não ferrosos e de purificação de sub-produtos. Segundo Liddel «Chlorine as a metallurgical reagent appears to have lost ground during recent years. However, it is a question in the author's mind whether the great decrease in price of chlorine and the large sources of supply that will be available after the war do not warrant reinvestigation of the applicability of chlorine processes to present day metallurgy».

Na *lexiviação* parece ser tendência alargar o âmbito da aplicação de certos dissolventes, hoje ainda não utilizados em escala industrial. É possível que certos metais, como o cobalto, venham a beneficiar, em especial, desta tendência.

No caso da *precipitação* pelo ferro parece ser tendência geral, já há muitos anos existente, a substituição do processo clássico, estático, pela precipitação mecânica, de modo a reduzir o tempo de precipitação e a melhorar a qualidade do cemento obtido.

* * *

Neste capítulo é difícil tratar com suficiente objectividade tendências que gradualmente se vão desenhando e que, de um modo ou de outro deverão vir a promover o alargamento das possibilidades de aplicação da hidrometalurgia na recuperação do cobre e, de uma maneira geral, na dos metais não ferrosos mais correntes.

É natural que deste alargamento resulte uma feição económica diferente para certos problemas. Será de esperar que os resultados das melhorias introduzidas se venham a reflectir acentuadamente no tratamento de

([1]) Van Arsdale.

minérios de cobre de baixo teor, no de sub-produtos resultantes da ustulação de minérios concentrados e, eventualmente, na utilização de minérios de zinco, de cobalto e de urânio — problemas cujas perspectivas, poderão vir a ser, como consequência, apreciàvelmente melhoradas.

BIBLIOGRAFIA

«Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers».

«Chemical Engineering Progress», vol. 47, n.os 8 e 12 de 1951.

O ENGENHEIRO, O ARQUITECTO E A CONSTRUÇÃO

No próximo dia 4 de Dezembro, pelas 21,30 h, no Salão Nobre do Instituto Superior Técnico, *o Prof. Eng.º Daniel Vieira Barbosa*, proferirá uma conferência subordinada ao título em epígrafe, em que tratará das razões que legitimam uma boa colaboração entre engenheiros e arquitectos no campo da construção.

VIDA ESCOLAR E ASSOCIATIVA

PONTOS DE EXAME

Matemáticas Gerais

Exame final — Época de Outubro — 1953

I PARTE

I) Estude e represente gràficamente a função:

$$y = \frac{4x^2 - 4x - 3}{x^2 - 4x + 6}$$

II) O plano π) é definido pelos pontes A (1, 0, 0). B (0, 2, 0) e C (0, 0, 3), e a recta r) pelos pontes P (1, 2, 3) e Q (3, 2, 1).
Determine a projecção ortogonal de r) sobre π).

II PARTE

I) Propriedades da operação de radiciação de números complexos.
Demonstre, em particular, que as *n* raizes de índice *n* dum número complexo podem obter-se multiplicando a sua raiz de menor argumento principal por todas as *n* raízes de índice *n* da unidade.

II) Fórmulas de Taylor e de Mac-Laurin. Sua importância teórica no estudo dos pontes notáveis duma função e no levantamento de indeterminações.

III) Séries alternadas. Definição e propriedades características.

IV) Aponte os casos mais importantes de anulamento dum determinante e indique algumas propriedades dos determinantes nulos.

V) Escreva as diferentes equações de um plano e faça a sua discussão.

Máquinas motrizes

2.º exame ordinário — 1953

1) Defina claramente a diferença entre turbina a gás e motor a jacto.
2) Compare as potências desenvolvidas por um motor a jacto, parado e em vôo.
3) Dizer o que é o factor Diesel na fórmula do rendimento dum motor; indique se este é maior ou menor que 1. Justificar, em face da resposta à pergunta anterior, a razão porque o rendimento Diesel é maior que o do motor de explosão.
4) Descreva o sistema de inflamação normal de um automóvel de 4 cilindros.
5) O que é elasticidade num gerador de vapor. Dar uma ideia das formas como se pode dar maior elasticidade a uma instalação já existente.
6) Indicar as diferenças existentes entre grelhas de cadeia em que as grelhas formam cadeia e aquelas em que esta é independente da grelha. Condições do emprego dum e doutro tipo.

2.º exame extraordinário — 1953

1.º) Porque razão tem que se usar sempre excesso de ar nos motores a jacto e turbinas de gás? De quanto é normalmente este excesso? Quais os fenómenos que se passam nas pás das turbinas se a temperatura for muito elevada? Indique quais os materiais que se adicionam às ligas empregadas na construção das pás para serem resistentes ao calor e terem elevados coeficientes de trabalho.

2.º) Descreva as instalações de carvão pulverizado que conhece.
Indique as vantagens dos queimadores de turbulência para carvão pulverizado.

3.º) Porque é que se utilizam aquecedores de água e ar e não se utiliza esse calor para aquecer a caldeira?
Porque é que nas caldeiras de alta pressão os aquecedores de água e ar têm muito maior desenvolvimento que para as caldeiras vulgares até 16 kg/cm² de pressão?

4.º) Descreva a grelha mista de cadeia girante e pás mecânicas. Indique qual a necessidade de usar sempre um gasogéneo com esta grelha.

5.º) Descreva sumàriamente os tipos que conhece de câmaras de combustão para Diesel.

6.º) *a*) Porque é que passa corrente do dínamo para a bateria e não passa da bateria para o dínamo?
b) Numa engrenagem para transmissão de movimento a relação de transformação é de 1:10. Sabendo que o módulo é 5, calcular a distância entre os centros das 2 rodas. A roda mais pequena tem 13 dentes.

---

a) Só para o curso de Electrotecnia.
b) Só para o curso de Química

C. D. 621.438:620.19

Problemas metalúrgicos numa turbina de gás

PELO ENG.º MEC. (I. S. T.) JOSÉ HENRIQUE ARANDES
Assistente do I. S. T

O enorme desenvolvimento das turbinas de gás, verificado recentemente, levantou problemas metalúrgicos especiais e é tal a importância e novidade que estes apresentam que o seu estudo pormenorizado se impõe, cada vez mais, numa escola superior de engenharia.

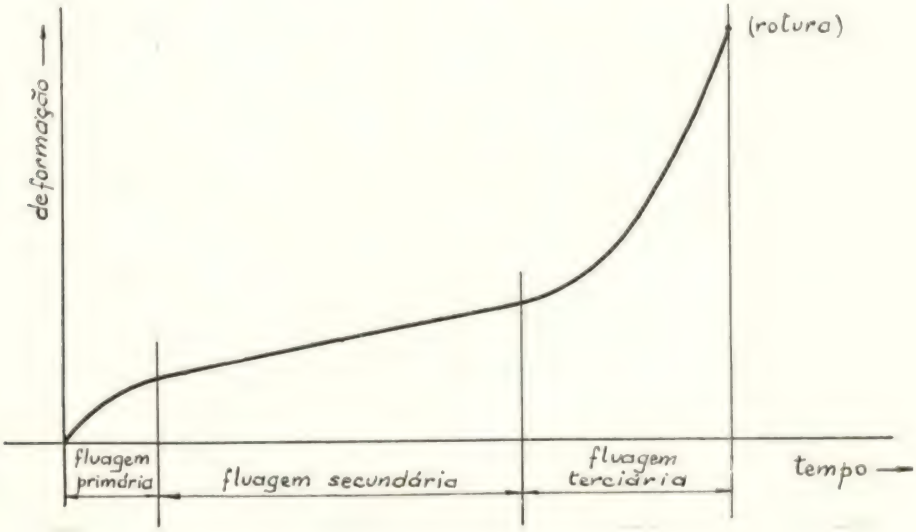
Vamos aqui referir-nos ligeiramente apenas a dois, de maior importância e interesse: o fenómeno da fluagem, característico das peças que trabalham a altas temperaturas, e o processo de fundição por «cera perdida» — método de fabrico que se distingue pela sua elevada precisão e pela maneira surpreendente como veio resolver a dificuldade de forjamento e trabalho de materiais que devem resistir a altas temperaturas.

a) — *Fenómeno da fluagem* — As turbinas de gás de pressão constante funcionam segundo um processo de combustão contínua. A temperatura média do fluido-motor é, portanto, mais elevada do que a que se encontra num motor de êmbolo, que trabalha segundo um ciclo de combustão intermitente. Daqui resulta que, numa turbina de gás, tanto as peças fixas como aquelas animadas de movimento de rotação, estão sujeitas contìnuamente a elevadas temperaturas de trabalho.

Ora, o principal efeito de fadigas a altas temperaturas é o fenómeno da fluagem, e este é assim o problema metalúrgico mais importante a que temos de atender na construção duma turbina de gás para fins industriais.

Como sabemos, um material desde que seja submetido a um determinado esforço sofre uma deformação e esta, às temperaturas normais e uma vez que o esforço se não modifique, mantém-se constante com o tempo. Porém, a altas temperaturas, surge-nos um fenómeno novo: para um mesmo esforço, a deformação correspondente deixa de ser constante para passar a aumentar com o decorrer do tempo. É nisto que consiste o *fenómeno da fluagem*.

Na figura está representada uma curva típica de fluagem:



Aquela figura mostra que a velocidade de fluagem começa por decrescer ràpidamente numa primeira fase — a fluagem primária — depois conserva-se pràticamente constante (decresce muito lentamente com o tempo) — fluagem secundária — e, finalmente, numa terceira fase, aquela velocidade aumenta com rapidez até provocar a rotura — fluagem terciária.

A curva traduz, por consequência, dois factos fundamentais no fenómeno da fluagem: a velocidade de fluagem passa por um mínimo que, na prática, se pode considerar como o valor correspondente a todo o período da fluagem secundária; além disso, a curva «deformação-tempo» apresenta um ponto de inflexão, a partir do qual a rotura se dá ao fim de pouco tempo, mesmo para um esforço relativamente pequeno.

Os materiais que trabalham a altas temperaturas deixam, portanto, de ser elásticos e começam a comportar-se como plásticos, o que deve ser devido a uma diminuição com o tempo das forças intramoleculares.

A zona elástica da curva «força-deformação», em que as deformações são proporcionais às forças que as provocam — que existe para as temperaturas normais — desaparece para as temperaturas elevadas. Daqui resulta que para os materiais que trabalham a altas temperaturas a carga limite de elasticidade, assim como a carga de rotura à tracção, passam a depender do tempo, para uma dada temperatura de trabalho, e perdem assim grande parte da importância de que se revestem no estudo da resistência de materiais sujeitos a temperaturas vulgares.

As cargas admissíveis em materiais submetidos a altas temperaturas devem ser então relacionadas com as deformações que produzem ao fim de certo tempo, pelo que aquelas cargas devem satisfazer às duas seguintes condições:

1.ª — as deformações não podem ultrapassar determinado valor durante a vida provável da máquina, para que o funcionamento desta fique sempre assegurado;

2.ª — não se deve produzir a rotura durante o mesmo período.

Quer dizer, na fixação das cargas admissíveis a altas temperaturas, além da consideração da carga de rotura — como sucede para as temperaturas normais — aparece a sujeição nova da deformação máxima a consentir, mesmo sem rotura. Mas ainda há mais: a carga de rotura vai depender da temperatura de trabalho e do tempo, visto que a uma dada temperatura uma carga pequena pode produzir a rotura, desde que actue durante um intervalo de tempo suficientemente longo. No entanto, esta relação entre a carga de rotura e o tempo está relacionada com a deformação máxima a tolerar.

Resta dizer que os limites de fluagem, ou seja, os limites a consentir para a deformação variável com o tempo, se estabelecem extrapolando os valores que se obtêm em ensaios de curta duração.

É interessante notar aqui que os fenómenos da corrosão e da oxidação nas peças submetidas a altas temperaturas têm influência sobre a fluagem, apressando o aparecimento da fluagem terciária.

Esta influência é independente da diminuição de resistência que aqueles fenómenos provocam pela redução das dimensões úteis.

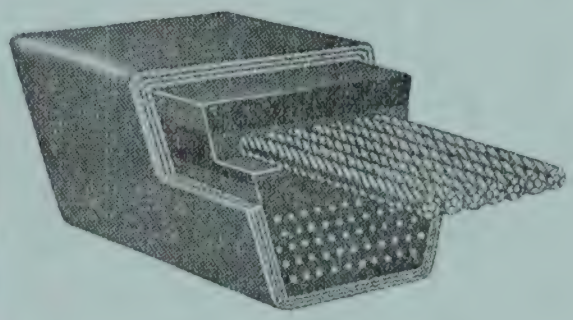
Pelo contrário, a resistência à fluagem, isto é, o adiamento da fluagem terciária, é melhorada pela acção de tratamentos térmicos especiais.

b) — *Fundição pelo processo da «cera perdida»* — Este processo está a ser cada vez mais empregado no fabrico das pás, tanto fixas como móveis, das turbinas de gás. O emprego de materiais de grande resistência a temperaturas elevadas na construção das pás tornava muito difícil e até impraticável o forjá-las ou trabalhá-las. Impunha-se nessas condições um novo processo de fabrico — o da fundição — e este foi alcançado pelo método de «cera perdida», que garante a indispensável precisão, 5 centésimos a 1 décimo de milímetro de

Quando tiver uma transmissão difícil, use

GOODYEAR

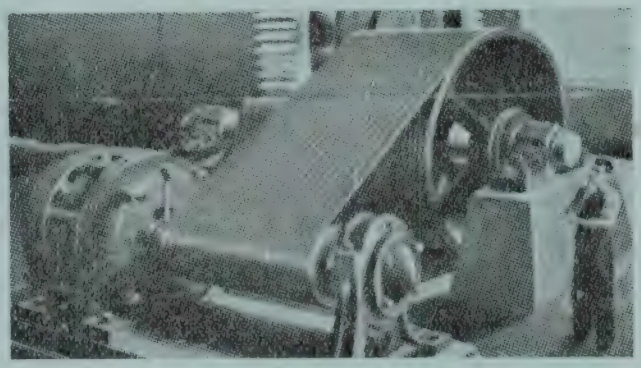
um tipo especial para cada serviço.



Quando tiver pequenas distâncias entre centros, grandes diferenças entre diâmetros, ou ambas as coisas, empregue correias **trapesoidais** sem-fim da

GOODYEAR

Para grandes potências use correias **trapesoidais** com cordas de aço.



Distribuidores exclusivos: **CANELAS & FIGUEIREDO, L.DA**

R. dos Fanqueiros, 46 — LISBOA

Telef. 2 5058 / 2 4502 / 2 1729

Teleg. CANELASCO

EXPLOSIVOS

FABRICO CONTÍNUO DE 300 Kg/h DE

NITROGLICERINA

ACESSÓRIOS PARA

TODOS OS PROCESSOS

DE DETONAÇÃO

ÁCIDO AZÓTICO

Sociedade Portuguesa de Explosivos, L.da

RUA DOS FANQUEIROS, 44 - 1.º

LISBOA

tolerância, e um excelente acabamento das superfícies.

Além disso, o método da «cera perdida» permite reproduzir com facilidade as formas complicadas que as pás torsas muitas vezes apresentam, embaratecendo um pouco o custo de fabrico.

Vejamos ràpidamente em que consiste o processo.

Começa por fabricar-se um molde-padrão com a forma a ser reproduzida. O molde é feito de latão ou aço, sendo preferível este último material, e no seu fabrico devem ter-se em conta as diferentes contracções a considerar, que adiante veremos quais são.

O molde-padrão é em seguida usado para a execução de moldações permanentes, feitas com uma liga metálica de baixo ponto de fusão.

Nessas moldações permanentes injecta-se cera especial, de grande dureza, pequena contracção e elevado ponto de fusão. Obtém-se maior precisão, injectando a cera a uma temperatura baixa mas a grande pressão, visto que assim se reduz a contracção da cera ao arrefecer. Porém, a pressão de injecção é limitada pela resistência das moldações permanentes.

Para se conseguir o fabrico simultâneo de muitas peças, reunem-se vários moldes de cera por uma barra transversal, também em cera, destinada a formar o canal de enchimento. As diferentes peças são ligadas por fusão local, empregando para isso ferramentas aquecidas, ou então ajustam-se por atrito em encaixes prèviamente estabelecidos.

Depois mergulha-se o conjunto dos moldes de cera numa mistura de pó de sílica muito fino com um aglomerante líquido, que endurece quando seca, formando uma camada delgada de material refractário, cuja superfície é tão suave como as dos moldes de cera.

O conjunto assim revestido é colocado nnm recipiente metálico e aqui coberto inteiramente com uma mistura de sílica, mais grossa, e um aglutinante líquido semelhante ao anterior.

Seca-se o revestimento ao ar até adquirir a consistência necessária para conservar a forma e derrete-se a cera por meio de vapor ou de uma bateria de lâmpadas infravermelhas. Nesta última operação derrete-se ou «perde-se» cerca de 98 $^{0}/_{0}$ da cera dos moldes. O revestimento de sílica coze-se num forno, onde endurece completamente e forma uma verdadeira moldação Nesta operação queima-se o resto da cera, a qual pràticamente não deixa cinzas.

A liga especial com que se fabricam as pás é fundida num forno adequado de arco eléctrico e é vazada para dentro da moldação de sílica. O vazamento é feito por ar comprimido de modo a serem preenchidas todas as reintrâncias da moldação.

Depois de arrefecer, quebra-se a moldação de sílica e retira-se o conjunto de pás, que são em seguida separadas umas das outras. Estas operações de corte e limpeza de rebarbas são feitas pelos processos correntes.

As pás assim fundidas não são trabalhadas ulteriormente, pelo que a estrutura do grão do material e outras propriedades físicas dependem apenas da composição da liga, das condições de vazamento e do tratamento térmico realizado depois da fundição.

Compreende-se agora que as contracções a considerar no fabrico do molde metálico padrão são aquelas que se verificam na execução da moldação permanente, na dos moldes de cera, na secagem e cozedura da moldação de sílica e, por fim, quando do arrefecimento do material das pás.

Para separar ràpidamente as peças perfeitas das imperfeitas, a «Westinghouse Electric Corporation» usa o processo de mergulhá-las em óleo fluorescente e examiná-las depois à luz negra. Quaisquer fendas ou outros defeitos de fabrico aparecem então com uma côr amarela brilhante.

VIDA ESCOLAR E ASSOCIATIVA

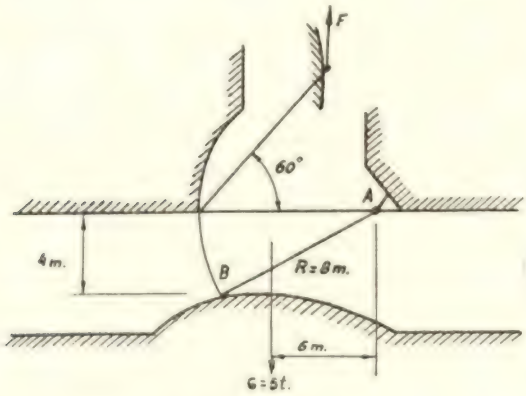
PONTOS DE EXAME

Hidráulica geral e aplicada

Exame final — 1953

1.º problema

Considera-se uma comporta de sector instalada na descarga de fundo de uma albufeira, conforme indica o esquema, e com a largura de 2,00 m. A carga de água sobre a sua soleira B é de 40 m.

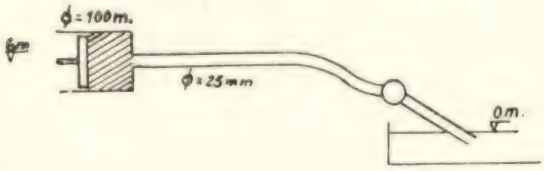


1.º — Determinar as reacções de apoio nos pontos A e B, admitindo que esta última é vertical.

2.º — Calcular a força F que se torna necessário aplicar para iniciar a abertura da comporta. Desprezam-se os atritos.

2.º problema

Uma bomba deverá alimentar de óleo sob pressão um servo-motor cujo êmbolo vencerá uma resistência de 400 kg movendo-se à velocidade de 0,05 m/s. A con-



duta de óleo tem 15 m de comprimento, e o esquema da instalação é o representado na figura. As características do óleo são:

$$\nu = 2 \times 10^{-5}$$

$$\rho = 0{,}9 \text{ t/m}^3$$

1.º — Calcular a potência a fornecer à bomba se o seu rendimento for de 0,70.

2.º — Supondo que a bomba é centrífuga calcular o seu n_s, indicando se se tratará duma bomba simples ou por andares.

Perguntas teóricas

1.ª — Influência da rugosidade das paredes na resistência oposta ao escoamento de fluídos em condutas sob pressão. Sua interpretação à luz das noções de camada limite e película laminar.

2.ª — Condições de assimilação de um escoamento turbulento a irrotacional.

3.ª — Chaminé de equilíbrio em aproveitamento hidráulico. Necessidade, condicionamentos.

4.ª — Faça a crítica da fórmula geral para o cálculo do regolfo em canais prismáticos e com caudal constante $I = \dfrac{A}{Z-1}$

Cálculo diferencial e integral

Exame final — 1953

I) *a*) Verifique que as duas superfícies

$$S)\ 2x^2 + y^2 - 2z + xy = 8$$

e

$$\Sigma)\ x^2 + 5y^2 + \lambda z + \lambda^2 xz = 21$$

passam ambas pelo ponto P (1, 2, 0);

b) Determine λ de modo tal que os planos tangentes a S e Σ, em P, sejam perpendiculares;

c) Verifique que há duas superfícies Σ_1 e Σ_2 satisfazendo ao problema;

Determine as projecções no plano xy das intersecções de Σ_1 e Σ_2 com o plano tangente a S.

II) Calcule $\alpha = \text{grad div } [u\,(P - O)]$, sendo u uma função escalar de x, y, z e P (x, y, z) um ponto variável. Sendo O a origem, verifique que, se a função u (x, y, z) for linear, α é constante e determine o seu valor.

III) Como se pode reconhecer se a equação de 1.ª ordem

$$dy - f(x, y)\,dx = 0$$

admite um factor integrante da forma $\lambda = X\,Y$, sendo X (x) função só de x e Y (y) função só de y? Como achar X e Y, se isso for possível?

IV — Achar as projecções sobre o plano xy das curvas do paraboloide 2 a $z = m\,x^2 + y^2$, cujas tangentes fazem um ângulo constante com o eixo dos zz.

(Equação de *D'Alembert*).

C. D. 624.131

UMA NOVA CONSTANTE DO SOLO E SUA APLICAÇÃO[1]

PELO ENG.º MANUEL PIMENTEL PEREIRA DOS SANTOS

Chefe do Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo, de Lourenço Marques

Sumário

O uso de uma nova constante do solo, relacionada com a fracção arenosa da curva granulométrica, tem-se mostrado um valioso instrumento na resolução de alguns problemas clássicos de mecânica dos solos. Esta comunicação apresenta os primeiros resultados referentes à aplicação dessa nova constante a problemas tais como a relação entre os limites de Atterberg e a curva granulométrica, a mistura dos solos, a identificação e classificação dos solos, e as especificações para a estabilização dos solos.

Introdução

Relacionada com a investigação em alguns problemas de estabilização do solo, uma nova constante do solo foi introduzida pelo autor (M. P. Santos, 1950-51). Esta constante está relacionada com a curva granulométrica pela expressão

$$a = \frac{\Sigma y}{100\,\eta} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

onde

y = ordenadas (percentagens que passam) da curva granulométrica, correspondendo aos crivos n.os 200, 100, 52, 25, 14 e 7 B. S. (ou o equivalente dos crivos A. S. T. M.);

η = o número daquelas ordenadas (seis)

Pode-se provar fàcilmente que a constante a é proporcional à área limitada pela curva granulométrica, pelo eixo $y = 0$, e pelas ordenadas dos crivos n.os 200 e 7 (fracção arenosa do solo). Abrams (1918), no conceito de módulo de finura para agregados de betão e Turubull (1948) usaram a área sobre a curva, com outros limites. Burmeister (1938) usou a área sob a curva, também com outros limites.

O cociente

$$t = \frac{x}{a} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

da percentagem (dividida por 100) passando no crivo n.º 200, pela constante a desempenha um papel importante nos resultados seguintes.

Relação entre o limite de liquidez, o índice de plasticidade e a curva granulométrica

Numerosas tentativas foram feitas no passado a fim de relacionar o limite de liquidez e o índice de plasticidade dos solos com algumas características da curva granulométrica. O trabalho de Cooling e Skempton (1946), Clare (1948) e Skempton (1948) indicou o tipo multiforme de relações existentes entre os limites de Atterberg e a fracção de argila nos solos. Na realidade além da grandeza das partículas, há outros factores com importante papel neste problema; nomeadamente, a mineralogia da fracção de argila, o conteúdo orgânico, a forma dos grãos, etc. A importância dos trabalhos de investigação abrangendo estes pontos não precisa de ser acentuada; Terzaghi e Peck (1948) declararam que «a investigação das relações estatísticas entre os limites de Atterbeg e as outras propriedades dos solos coesivos constitui um dos mais prometedores campos de pesquisa na física dos solos». No nosso laboratório, foram examinadas 353 amostras de solos de diferente origem, localização e tipo. Nesta fase

[1] Comunicação à Terceira Conferência Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Suíça, 16 a 27 de Agosto de 1953, vol. I, Sessão I.

de investigação, nenhuma tentativa foi feita para separar a influência dos factores enunciados acima; contudo, os resultados obtidos parecem dignos de observação cuidadosa. As figs. 1 e 2 mostram *LL* e *IP* traçados em função de $t = \frac{x}{a}$. Usando o método dos mínimos quadrados, a curva de forma

$$LL \text{ ou } IP = b_1 + b_2\, t + b_3\, t^2 \quad . \; . \; . \quad (3)$$

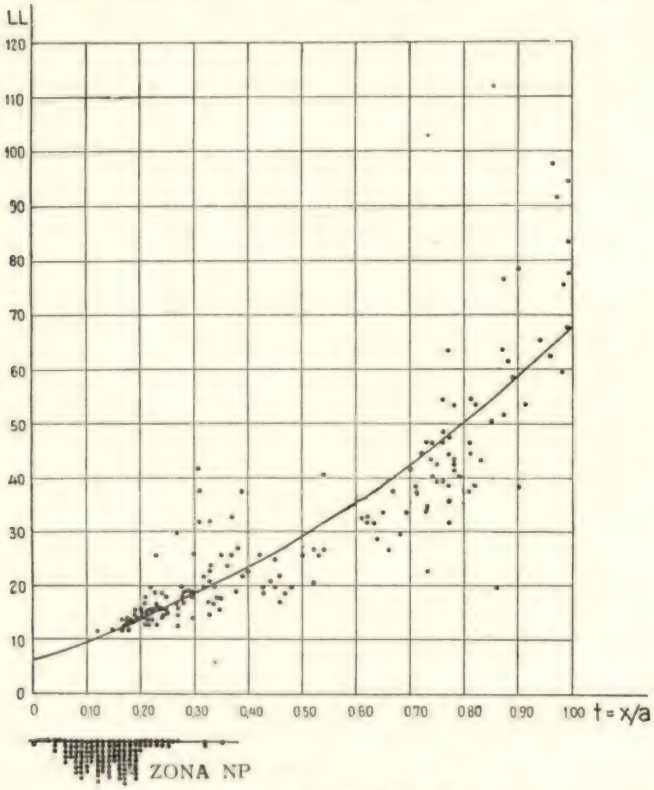


Fig. 1 — Relação entre o limite e t

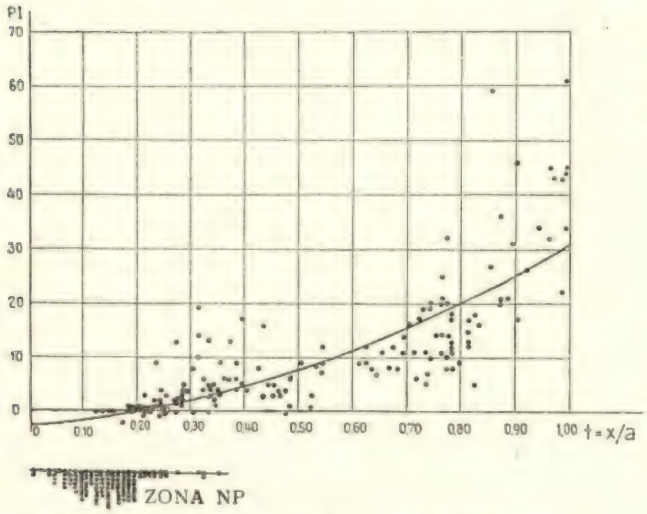


Fig. 2 — Relação entre o índice de plasticidade e t

ajusta-se aos dados experimentais. A determinação das constantes conduz às seguintes equações

$$LL = 0{,}067 + 0{,}303\, t + 0{,}309\, t^2 \quad . \; . \quad (4)$$

$$IP = -0{,}026 + 0{,}097\, t + 0{,}240\, t^2 \quad . \quad (5)$$

Segue-se que

$$LP = 0{,}093 + 0{,}206\, t + 0{,}069\, t^2 \quad . \; . \quad (6)$$

Um estudo estatístico de frequência das discrepâncias entre os valores teóricos e experimentais é resumido nas figs. 3 e 4, para *LL* e *IP*, respectivamente. Pode indicar-se que 87,7 % das determinações de *LL* mostram uma diferença < 10 dos valores dados por (4); no caso de *IP*, 84,1 % mostram uma diferença < 6 dos valores dados por (5).

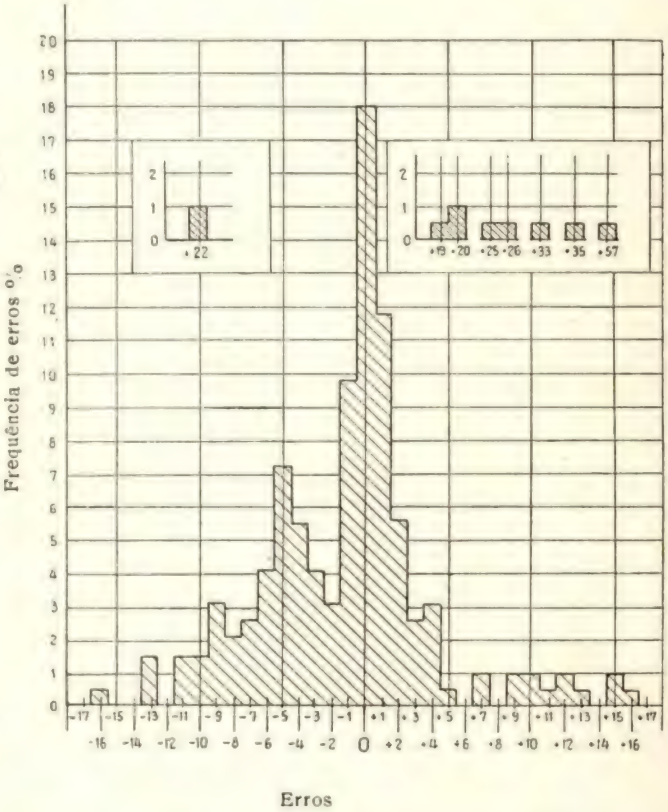


Fig. 3 — Frequência das diferenças entre os valores teóricos e experimentais do limite líquido

O factor de relação da curva adequado admite-se como sendo $R = 0{,}988$ para o *LL*, e $R = 0{,}983$ para o *LP*. (O factor de relação toma-se como definido por $R^2 = 1 -$

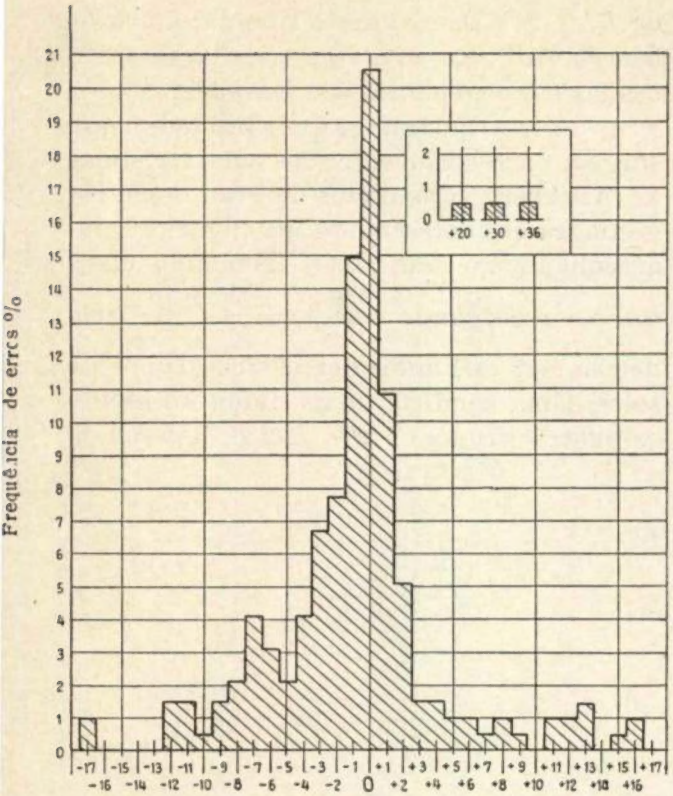


Fig. 4 — Frequência das diferenças entre os valores teóricos e experimentais do índice de plasticidade

$-\frac{U}{\eta\sigma^2}$ onde U representa a soma dos quadrados dos resíduos, η o número de observações e σ o desvio normal). Todos os solos, mostrando resíduos maiores que 10 para o *LL*, e que 6 para o *IP* encontraram-se como tendo um alto conteúdo orgânico. Outros factores relacionados não têm sido muito investigados, mas a próxima etapa do programa de pesquisas tomá-los-á em conta. É possível que a introdução dos factores de correcção possa auxiliar a explicação das discrepâncias observadas.

Misturas dos solos

No trabalho diário dum laboratório que trata da estabilização granular dos solos, a determinação de *LL* e *IP* de misturas de solos tem um largo campo de aplicação.

O problema foi solucionado em trabalhos prévios pelo autor (M. P. P. Santos 1950, 1951, no prelo) com uma aproximação que se julgou ser suficiente para os objectivos da prática. Os *LL*, *LP*, *LR*, *IP* ou *FME* de uma mistura de 2 solos são dados por

$$k = \frac{A_1 a_1 k_1 + A_2 a_2 k_2}{A_1 a_1 + A_2 a_2} \quad . \; . \; . \; (7)$$

onde

k = característica de mistura.

k_1 e k_2 = correspondendo às características dos solos misturados.

A_1 e A_2 = percentagem em peso (dividido por 100) dos solos na mistura.

a_1 e a_2 = as constantes a_1 dadas pela equação (1).

Julga-se que a equação quadrática (7) representa uma primeira aproximação do problema. Na realidade, ela é válida só se as relações (3) assumem uma forma linear. Como este não é o caso, temos:

LL ou *IP* =

$$= b_1 + b_2 \frac{x}{a} + b_3 \frac{x^2}{a^2} = b_1 + b_2 \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2}{A_1 a_1 + A_2 a_2} + b_3 \frac{(A_1 x_1 + A_2 x_2)^2}{(A_1 a_1 + A_2 a_2)^2} =$$

$$= \frac{b_1(A_1 a_1 + A_2 a_2) + b_2(A_1 x_1 + A_2 x_2) + b_3(A_1 x_1 + A_2 x_2 \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2}{A_1 a_1 + A_2 a_2}}{A_1 a_1 + A_2 a_2} =$$

$$= \frac{A_1 a_1 \left(b_1 + b_2 \frac{x_1}{a_1} + b_3 \frac{b_1 x}{a_1 a}\right) + A_2 a_2 \left(b_1 + b_2 \frac{x_2}{a_2} + b_3 \frac{x_2 x}{a_1 a}\right)}{A_1 a_1 + A_2 a_2}$$

Isto só daria o mesmo resultado que o tirado de (7) se tivéssemos $\frac{x_1^2}{a_1^2}$ e $\frac{x_2^2}{a_2^2}$ em vez de $\frac{x_1 x}{a_1 a}$ e $\frac{x_2 x}{a_2 a}$. A diferença:

$$\Delta = \frac{b_3}{a} \left[A_1 x_1 (t - t_1) + A_2 x_2 (t - t_2)\right] \quad . \; . \; (8)$$

é geralmente desprezável em face de (7). Por exemplo, com $a_1 = 0{,}57$, $x_1 = 0{,}12$, $t_1 = 0{,}21$, $a_2 = 0{,}73$, $x_2 = 0{,}94$, $t_2 = 0{,}78$, obtemos:

$$LL \; \Delta = 0{,}03 = 3\,\%$$
$$IP \; \Delta = 0{,}02 = 2\,\%$$

As expressões obtidas permitem a construção analítica do diagrama de Bonnenfant (1948), e dão um instrumento eficiente para o estudo das misturas arenosas dos solos e

para a determinação indirecta das características de Atterberg dos solos de tipo não plástico.

A Carta de Plasticidade

O trabalho clássico de Casagrande (1947) apresentou a relação entre LL e IP como um instrumento para a identificação dos solos coesivos.

A fig. 5 apresenta a Carta de Plasticidade como é usada na classificação de Casagrande.

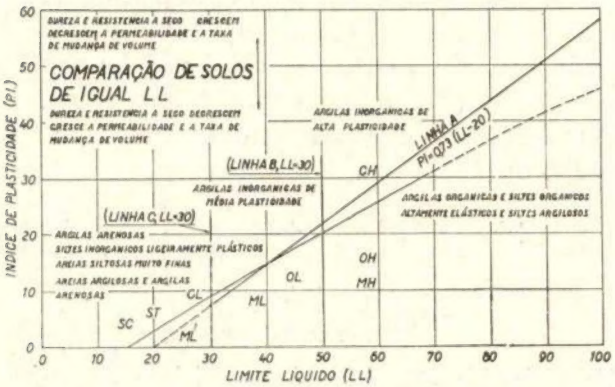


Fig. 5 — Relação entre LL. e IP. segundo Casagrande e deduzida das equações (4) e (5)

Das equações (4) e (5), pode tirar-se fàcilmente uma relação quadrática da forma f $(LL, IP) = 0$. Se exprimirmos gràficamente esta relação (fig. 5) obtemos uma linha que é apenas ligeiramente diferente da linha «A» da Carta de Plasticidade.

Nos estudos que se hão-de seguir examinar-se-á se a sobreposição dos efeitos dos factores afectando LL e IP podem explicar os diferentes tipos de solos registados na carta.

A classificação dos solos

Há muitos sistemas de classificação de solos, nenhum deles inteiramente satisfatório. Foi afirmado por vários investigadores (ver, por exemplo, Turnbull, 1948), que a curva granulométrica daria uma boa base para uma tal classificação.

Numerosos sistemas usam conjuntamente alguns dados da granulometria e os valores de LL e IP. Dentro deste tipo cai a classificação H. B. R., uma das mais largamente usadas em engenharia das estradas.

A fim de ilustrar as possibilidades que surgem da relação entre as características de Atterberg e os dados de granulometria o diagrama apresentado na figura 6 foi desenhado por tentativas. Tomando eixos a e x e recordando que $t = \frac{x}{a}$, é possível determinar os limites dos vários grupos de solos. Uma condição mais fluída apresenta os quatro grupos A-2-5, A-2-6, A-5 e A-6,

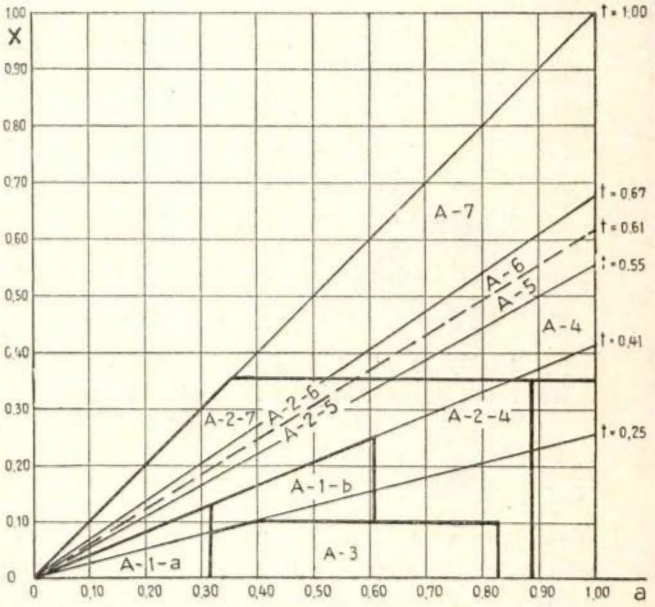


Fig. 6 — Diagrama para a classificação dos solos segundo a classificação do Highwas Research Board

que mostram os valores contraditórios de LL e IP como os tirados de (4) e (5): a linha $t = 0{,}61$ é uma linha puramente arbitrária desenhada como uma média entre $t = 0{,}55$ e $t = 0{,}67$.

Apesar do carácter preliminar das relações (4) e (5), deve acentuar-se que a aplicação deste diagrama a algumas centenas de solos ensaiados tem sido animadora.

A estabilização dos solos

Deve ter-se em mente que o objectivo principal do programa de pesquisa que conduz aos resultados acima é a sua possível aplicação aos problemas de estabilização dos

solos. Na secção que trata de misturas de solos, foram esboçadas algumas destas aplicações.

Além disso, espera-se que um melhor conhecimento das regras empíricas, como as usadas na prática pelos americanos (nomeadamente, as especificações A. S. T. M. (A. S. T. M., 1949) (Wartime Road Problems)) pode ser obtido por meio da relação existente entre os limites de Atterberg e os dados da granulometria. A condição de baixo conteúdo orgânico, geralmente imposta para estabilização dos solos, simplifica o problema no que diz respeito ao factor de perturbação.

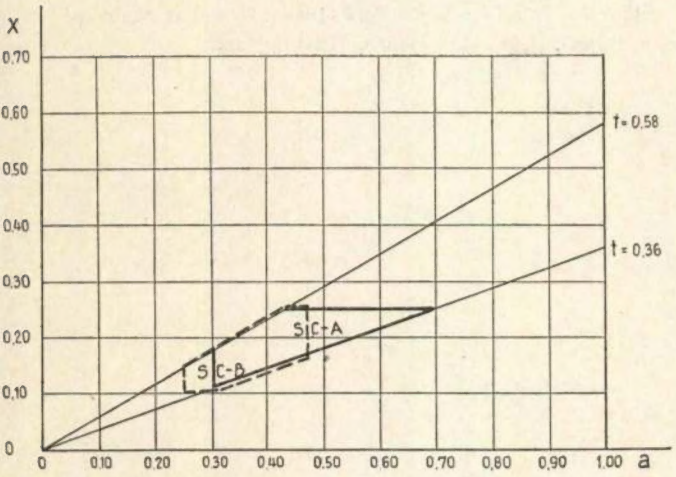


Fig. 7 — Limite de utilização de solos para direcções de superfície e estabilidade

As figs. 7 e 8 mostram, no diagrama x—a, os limites de utilização dos solos de acordo com as especificações do A. S. T. M. para as direcções superficiais (tipos A e B, citados como SC-A e SC-B, respectivamente) e para as direcções da base (tipos A e B, citados como BC-A e BC-B, respectivamente).

Se sobrepomos os diagramas no diagrama mostrado na fig. 6 ver-se-á que os solos próprios para estabilização granular caiem dentro dos limites dos grupos A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4 e A-2-5.

Há concordância perfeita entre os valores limites de *a*, ambos deduzidos dos limites de Atterberg e da curva granulométrica, só no tipo BC-B. A concordância é bastante melhor para os valores mais elevados de *a* nos tipos SC-A e BC-A, para os quais os valores mais baixos de *a* foram tirados das curvas limites granulométricas, a fim de assegurar melhor compatibilidade. Para o tipo SC-B ambos os limites de *a* devem ser deduzidos das curvas granulométricas. No que diz respeito aos valores de *t* deduzidos das especificações de *LL* e *IP*, há coincidência para os valores das direcções da base, e bastante aproximação para os valores das direcções da superfície. Parece, no entanto, que é desnecessário especificar ambos.

O assunto deve ser submetido a uma mais

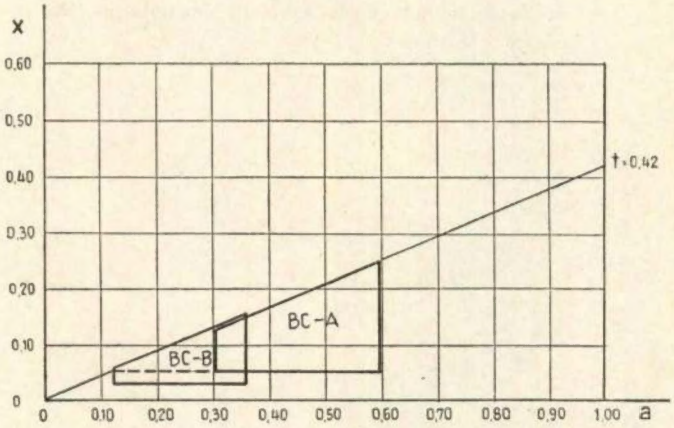


Fig. 8 — Limites de utilização de solos para direcção de base estabilizadas

profunda análise numa fase mais avançada de investigação, para que os resultados acima sejam dignos de cuidadosa consideração.

Nota — O presente trabalho foi realizado como parte do programa de pesquisas do «Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo», Lourenço Marques, África Oriental Portuguesa.

Referências:

Abrams, D. A. (1918): Design of Concret Mixtures Bulletin 1, Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago.

A.S.T.M. Book of Standards. (1949): Tentative Specifications D556-40T and D557-40T.

Bonnenfant, J. L. (1948): Les applications routières des sols cohérents, Paris.

Burmeister, D. M. (1938): A Study of Physical Characteristics of Soils. With Special Reference to Earth Structures. Bulletin No. 6. Department of Civil Engineering. Columbia University, New York City.

Casagranàe, A. (1947): Classification and Identification of Soils. Proc. Am. Soc. C. E. vol. 73, p. 783.

Clare, K. E. (1948): Laboratory Studies Relating to the Clay Fraction of Cohesive Soils. Proc. Sec. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Rotterdam, Paper II/a/3, Vol. 1.

Cooling, L. F. and *Skempton, A. W.* (1946): The Development and Scope of Soil Mechanics. The Principles and Applications of Soil Mechanics. Inst. Civ. Eng, London.

dos Santos, M. P. P. (1950): Previsão do Limite Líquido e do Índice de Plasticidade de Misturas de Solos. Revista da Ordem dos Engenheiros, No. 76, Lisboa, ou Boletim da Sociedade de Estudos de Moçambique, No. 67, Lourenço Marques.

dos Santos, M. P. P. (1951): Previsão do Limite de Retracção, da Retracção Linear e do Equivalente de Humidade de Campo de Misturas de Solos. Revista da Ordem dos Engenheiros, No. 94, Lisboa, ou Boletim da Sociedade de Estudos de Moçambique, No. 72 Lourenço Marques.

dos Santos, M. P. P. (in Press): Correlação Entre o Equivalente de Humidade de Campo e a Granulometria dos Solos. Memórias da Ordem dos Engenheiros, Lisboa.

Skempton, A. W. (1948): A Possible Relationship Between True Cohesion and the Mineralogy of Clays. Proc. Sec. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Rotterdam, Vol. 7, Paper II/a/11.

Terzaghi, K. and *Peck, R. B.* (1948): Soil Mechanics in Engineering Pratice, p. 35. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Turnbull, J. M. (1948): A New Classification of Soils Based on the Particle Size Distribution Curve. Proc. Sec. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Rotterdam Vol. 5, Paper XH/a/3.

Wartime Road Problems No. 5 (1943): Granular Stabilized Roads. High. Res. Board, Washington.